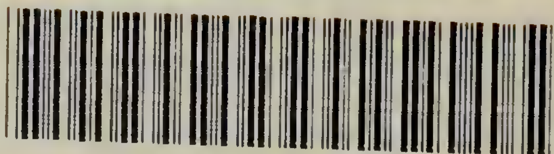
Die Röntgentechnik

von

H. Albers-Schönberg



May 1912



Ex Libris
Jacobi A. Samuel
Mai 1912



Albers-Schönberg

Die Röntgentechnik

Dritte Auflage

bearbeitet von

Prof. Dr. Albers-Schönberg und Prof. Dr. Walter



Hamburg
Lucas Gräfe & Sillem
(Edmund Sillem)
1910

Vorwort zur dritten Auflage.

Der vielseitig geäußerte Wunsch, der eigentlichen Röntgentechnik möge eine Abhandlung über die physikalischen Grundlagen des Röntgenverfahrens angegliedert werden, hat mich veranlaßt, an einen unserer ersten Fachmänner, Herrn Professor Dr. Walter, mit der Bitte heranzutreten, einen physikalischen Teil für die dritte Auflage meines Lehrbuches zu verfassen.

Ich hoffe, daß die von manchem Röntgenologen empfundene Lücke durch das Studium der Walterschen Abhandlung ausgefüllt werden möge.

Ein Lehrbuch der gesamten Röntgentechnik zu schreiben, ist heute bei der Vielseitigkeit der Apparate und Untersuchungsmethoden kaum noch möglich, jedenfalls würde ein solches Buch den Anfänger mehr verwirren, als ihm bei seinen praktischen Versuchen Nutzen bringen.

Unter vollständiger Anerkennung auch der von mir nicht erprobten und beschriebenen Apparate und Verfahren habe ich mich auch bei dieser Auflage darauf beschränkt, nur die Erfahrungen einer während 13 Jahren in der gleichen Richtung fortgesetzten Arbeit zu beschreiben und ihnen solche Methoden anzugliedern, deren Zuverlässigkeit ich persönlich nachprüfen konnte. Wer sich weiter umsehen will, dem sei das Studium der zahlreichen anderen Bücher und Monographien auf diesem Gebiete empfohlen.

Die vorliegende dritte Auflage wurde entsprechend den neuesten Fortschritten umgearbeitet und erweitert. Die wichtigste Erfindung der letzten Jahre, das Momentverfahren resp. das Verfahren mit abgekürzter Expositionszeit, ist gebührend berücksichtigt worden. Ich habe es indessen nicht so sehr in den Vordergrund gerückt, wie es mancher begeisterte Anhänger dieser Methode erwarten wird. Ohne auch nur im geringsten den großen Fortschritt, welcher im Schnellverfahren, namentlich für die innere Medizin liegt, zu unterschätzen, glaube ich doch, daß die Aufstellung von Rekorden besser im Laboratorium als in den Kliniken stattfindet. Die Diagnose ist der eigentliche Zweck des Röntgen-

verfahrens, daher sind vollkommen durchgearbeitete Bilder für den Patienten wichtiger als möglichst schnell hergestellte. Nur der sehr Geübte wird mit dem Schnellverfahren Ähnliches erreichen wie mit den etwas langsameren Methoden. Ich bezweifle nicht, daß mit der Zeit diejenigen Bildqualitäten, welche wir jetzt in Sekunden erzielen, auch in Bruchteilen von Sekunden herzustellen sind, und daß Aufnahmen, welche auch jetzt noch einige Minuten Belichtung erfordern, später in der gleichen Güte in Sekunden zu machen sein werden. Der Zweck eines Röntgenlehrbuches für Ärzte liegt meines Erachtens aber nicht darin, die oft etwas sportlichen Konsequenzen unseres Verfahrens zu lehren, sondern vielmehr zur Verbreitung einer modernen aber vor allem doch zuverlässigen Tecknik beizutragen.

Das Kompressionsblendenverfahren, welches sich jetzt einer fast allgemeinen Anerkennung und Benutzung erfreut, ist von mir durch Einführung neuer typischer Einstellungen ausgebaut worden.

Besonderen Wert legte ich auf Verbesserungen der Schutzvorrichtungen, worauf die trüben Erfahrungen der letzten Jahre gebieterisch hinwiesen. Um den zahlreichen an den Händen geschädigten Berufsgenossen Erleichterungen ihrer Leiden zu schaffen, habe ich die am eigenen Körper gemachten Erfahrungen, sowie die spezielle Therapie von Unna, letztere in extenso, gebracht.

Das Kapitel über die Technik der Konkrementuntersuchungen habe ich erweitert und nachzuweisen versucht, daß gerade auf diesem Gebiet die Röntgenuntersuchung jetzt zu einem nicht mehr entbehrlichen Hilfsmittel geworden ist. Eine wertvolle klinisch-diagnostische Ergänzung dieses technisch-diagnostischen Abschnittes ist durch die Monographie von Haenisch „*Röntgendiagnostik des uropoetischen Systems*“[1]) geschaffen worden. Größtenteils auf demselben Material unseres gemeinsamen Institutes sind Haenisch's klinische und meine technischen Untersuchungen begründet.

Die überaus große Anzahl verschiedener Methoden der Fremdkörperlokalisation haben den Erfolg gehabt, daß fast jeder Untersucher nach einer ihm besonders zusagenden speziellen Art verfährt. Praktisch, und auch vom Anfänger leicht ausführbar, sind die Methoden von Gillet und Fürstenau. Beide sind neben anderen Arten des Fremdkörpernachweises in diesem Buche aufgenommen worden.

[1]) Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Erg.-Bd. 20. Hamburg, Lucas Gräfe & Sillem.

Die vielen Anfragen über zweckmäßige Neueinrichtung von Röntgeninstituten an Krankenhäusern und Kliniken, die in den letzten Jahren an mich ergangen sind, waren die Veranlassung, dieses Thema, welches wohl dauernd aktuell bleiben wird, besonders ausführlich zu behandeln. Die reichen Erfahrungen, welche ich am *Krankenhaus St. Georg in Hamburg*, sowie an vielen anderen unter meiner Mitwirkung eingerichteten Instituten zu sammeln Gelegenheit hatte, werden, wie ich hoffe, manchem mit Neueinrichtungen beschäftigten Röntgenologen von Nutzen sein.

Ich übergebe die dritte Auflage der Röntgentechnik der Öffentlichkeit in der Hoffnung, daß sie eine ebensogute Aufnahme im Kreise der Fachgenossen finden möge, wie sie den beiden vorangegangenen Auflagen zuteil geworden ist.

Hamburg, Dezember 1909.

Albers-Schönberg.

Inhalt.

Spezielle Technik.

1. Kapitel.

Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen.

Gegen Ende des Jahres 1895 machte der damals in Würzburg lebende Physiker W. K. Röntgen die Entdeckung, daß von gewissen Stellen eines nahezu luftleer gemachten Glasapparates, durch welchen ein elektrischer Strom geschickt wird, eine neue Art von Strahlen ausgeht. Dieselben wurden von ihrem Entdecker X-Strahlen genannt, werden aber gegenwärtig allgemein nach ihm als Röntgenstrahlen bezeichnet, ebenso wie auch die Glasapparate, in welchen sie entstehen, jetzt allgemein Röntgenröhren heißen.

Allerdings haben diese Apparate heutigentags zumeist nicht mehr die Form einer Röhre; wohl aber war dies in den ersten Zeiten nach der Entdeckung der Strahlen in der Regel der Fall. Eine solche Röntgenröhre der damaligen Form ist in der Fig. 1 im Durchschnitt dargestellt. Sie besteht aus einem Glasrohr von 3—4 cm Durchmesser und 20—30 cm Länge, in welchem zwei Aluminium-Elektroden *A* und *K* an je einem in das Glas eingeschmolzenen Platindraht befestigt sind, der zugleich die elektrische Verbindung derselben nach außen hin bewirkt. Für die Elektroden nimmt man Aluminium, weil dieses Metall unter der Einwirkung des elektrischen Stromes in diesem Falle von allen in Frage kommenden Metallen am wenigsten zerstäubt; für die Einschmelzungsdrähte dagegen muß Platin benutzt werden, weil nur dieses Metall sich in Glas einschmelzen läßt, ohne das letztere nach dem Abkühlen zu sprengen.

Ältere Form der Röntgenröhre

Von den beiden Elektroden der Röhre der Fig. 1 besteht nun *K*, das stets als Kathode zu benutzen, d. h. stets mit dem negativen Pole der Elektrizitätsquelle zu verbinden ist, aus einem in der Achse der Röhre verlaufenden Aluminiumdraht von einigen mm Dicke und einigen cm Länge, auf welchem vorne eine Scheibe aus demselben Metall befestigt ist, die nahezu den ganzen Querschnitt der Röhre einnimmt. Auf die Form und Lage der Anode

A dagegen kommt es in diesem Falle weniger an, und es besteht dieselbe in der Regel nur aus einem kurzen, in einer kleinen Ausbuchtung der Röhre angebrachten Stück Aluminiumdraht.

Die Luft in der letzteren wird sodann mit Hilfe einer Luftpumpe bis auf weniger als $^1/_{100000}$ ihres normalen Druckes entfernt und gleichzeitig auch das Gas, welches stets an den Wänden der Röhre sowie an den Elektroden derselben haftet, durch Erwärmung der Röhre von außen her sowie durch fortwährendes Hindurchschicken eines elektrischen Stromes von passender Stärke hinausgetrieben und dann ebenfalls mit fortgepumpt. Schließlich wird die Röhre von der Pumpe abgeschmolzen.

Schickt man dann durch dieselbe in der genannten Richtung einen elektrischen Strom, was übrigens nur dann möglich ist, wenn die Elektrizitätsquelle Spannungen von vielen tausend Volt, d. h. Funken von mehreren cm Länge in gewöhnlicher Luft zu liefern vermag, so gehen von der Mitte der vorderen Fläche der Kathode *K* der Röhre in der Richtung der Achse der letzteren die sog. Kathodenstrahlen aus, die bei einem guten Röntgenstrahlenvakuum allerdings nur dadurch zu erkennen sind, daß sie auf der der Kathode gegenüber liegenden Glaswand bei *B* eine lebhafte grüne Phosphoreszenz des Glases hervorrufen, während sie bei einem etwas höheren Gasdruck auch in dem Gase der Röhre ein schwaches bläuliches Licht erzeugen, das dann in der der Fig. 1 die Form des daselbst durch punktierte Linien angedeuteten schwach kegelförmigen Bündels hat.

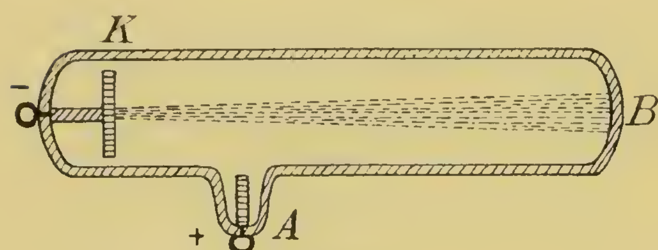


Fig. 1.

Diese Kathodenstrahlen sind nun für uns von grundlegender Bedeutung, insofern wir darin die Erzeuger der Röntgenstrahlen vor uns haben; und zwar entstehen die letzteren stets da, wo die ersteren in der sie erzeugenden Röhre auf einen festen Gegenstand aufstoßen, in derjenigen der Fig. 1 also in der Glaswand bei *B*. Der Entstehungsort der Röntgenstrahlen hat daher in diesem Falle eine nicht unbeträchtliche Flächenausdehnung, ein Umstand, der, wie wir später sehen werden, für die mit einer solchen Röhre erzeugten Röntgenbilder eine sehr große Unschärfe zur Folge hat. Nun gibt es aber ein Mittel, die Kathodenstrahlen, wenn auch nicht gerade bis auf einen vollkommenen Punkt, so doch bis auf einen Fleck von nur wenigen Millimetern Durchmesser zusammenzubringen. Dasselbe besteht darin, daß man der Vorderfläche der Kathode nicht wie in der Fig. 1 die Form einer

Neuere Form der Röntgenröhre

ebenen Scheibe, sondern vielmehr die eines Hohlspiegels gibt; denn die Kathodenstrahlen werden — aus Gründen, die wir später kennen lernen werden — von den in Frage kommenden Teilen der Kathode aus stets nahezu senkrecht zur Oberfläche derselben ausgesandt und müssen sich also in dem obigen Falle auch nahezu in dem Mittelpunkte des Hohlspiegels, dem sog. „Brennpunkte" desselben, vereinigen.

Andererseits erzeugen nun aber diese Strahlen an der Stelle, wo sie auftreffen, auch eine ganz bedeutende Wärmemenge; und so ist es denn bei Anwendung einer Hohlspiegelkathode nicht mehr möglich, die Strahlen wie in der Fig. 1 direkt auf der Glaswand der Röhre aufzufangen; denn dann würde das Glas an der betreffenden Stelle sehr bald bis auf seinen Schmelzpunkt erhitzt und dann natürlich sofort durch den starken, von außen her auf die Röhre wirkenden Druck der Atmosphäre (ca. 1 kg pro qcm) eingedrückt werden. Deshalb ging man denn auch zugleich mit der Einführung der Hohlspiegelkathoden dazu über, die Kathodenstrahlen auf einem besonderen, im Innern der Röhre angebrachten Metallbleche, der sog. Antikathode, aufzufangen, ein Blech, das dann zugleich nach außen hin metallisch abgeleitet werden mußte, um als positiver Pol der Röhre benutzt zu werden. Die Antikathoden wurden ferner in der ersten Zeit ganz aus Platin, später aber, als sie wegen der immer stärker werdenden Beanspruchung dicker gemacht werden mußten, aus einem wohlfeileren Metalle mit hohem Schmelzpunkte, und zwar in der Regel aus Nickel, Kupfer oder Eisen, hergestellt, das dann aber auf seiner Vorderseite meistens platiniert, d. h. mit einer dünnen Schicht Platin überzogen wurde. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die Ausbeute an Röntgenstrahlen bei Anwendung einer solchen platinierten Antikathode nicht unwesentlich größer ist als bei Benutzung einer solchen aus einem der obengenannten Metalle allein.

Die starke Wärme, welche sich bei gehöriger Belastung der Röhre auf ihrer Antikathode ausbildet, würde nun in dem röhrenförmigen Apparate der Fig. 1 indirekt auch die nächstgelegenen Teile der Glaswand stark erhitzen; und so erwies es sich denn weiter als zweckmäßig, denjenigen Teil der Röhre, in welchem sich die Antikathode befand, zu einer Kugel aufzublasen, so daß also schließlich die ursprüngliche Röhre der Fig. 1 nunmehr eine Form annahm, wie sie in den Figg. 2 oder 3 abgebildet ist. Darin stellt K die Kathode und A die Antikathode dar; und zwar wird die vordere Fläche der letzteren fast stets unter einem Winkel von ungefähr 45^0 zu der Richtung des von K kommenden Kathodenstrahlenbündels gestellt. Dies geschieht, um von den in diesen

Röhren entstehenden Röntgenstrahlen, die ja hier von dem auf der Vorderfläche der Antikathode A liegenden „Brennfleck" ihres Kathodenstrahlenbündels ausgehen, und sich dann von hier aus in der ganzen vor A gelegenen Halbkugel nach allen Richtungen, also z. B. nach AC, AN, AH, AB usw. hin, mit nahezu gleicher Stärke ausbreiten, noch ein genügend breites Bündel in die Richtung AH zu bekommen, da nämlich diese Richtung, wie wir später sehen werden, für die praktische Verwendung der Röhre die geeignetste ist, und daher der Strahl AH auch als der „Hauptstrahl" der Röhre bezeichnet wird.

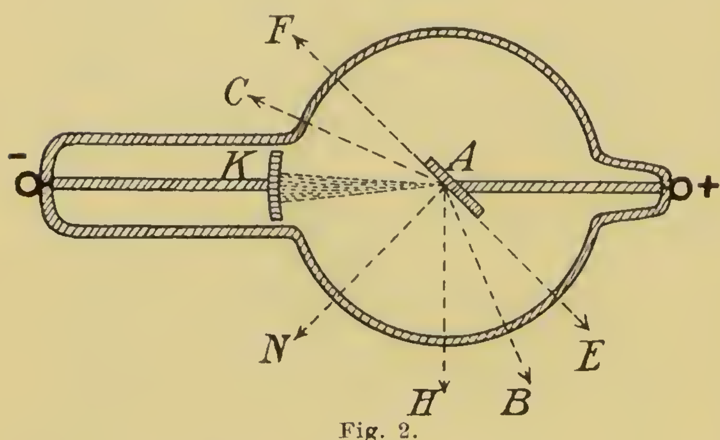


Fig. 2.

In der Röhre der Fig. 3 sieht man außer den beiden Elektroden K und A noch eine dritte A', die sog. Hilfsanode, die vor allem den Zweck hat, beim Auspumpen der Röhre die Antikathode A zu ersetzen, um dabei ein Zerstäuben des Platinüberzuges der letzteren zu verhindern. Später bei der fertigen Röhre sind jedoch beide Elektroden A und A' stets untereinander zu verbinden und dienen dann zusammen als Anode oder positiver Pol der Röhre.

Die beiden in den Figg. 2 und 3 dargestellten Röntgenröhren stellen nun gewissermaßen die Grundformen aller neueren Röntgenröhren dar, und die einzelnen Spezialkonstruktionen, auf die übrigens im praktischen Teile dieses Buches näher eingegangen werden wird, unterscheiden sich davon in der Regel nur durch die besondere Form ihrer Antikathode, die nämlich häufig zu einem starken Metallklotz oder bei den vom Verfasser zuerst angegebenen, sog. Wasserkühlröhren sogar zu einem mit Wasser gefüllten Glasgefäß mit Metallboden ausgebildet ist, um dadurch die starke von dem Kathodenstrahlenbündel auf der Antikathode entwickelte Wärme nach Möglichkeit unschädlich zu machen. Außerdem ist an den meisten im Gebrauche befindlichen Röntgenröhren auch noch eine besondere Nebenröhre mit Vorrichtung zur Regulierung und Erneuerung

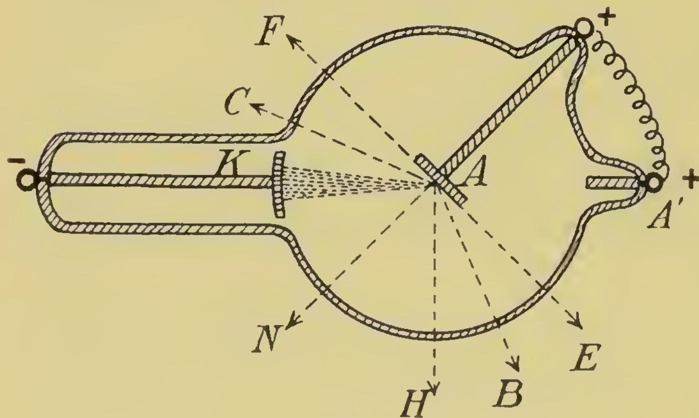


Fig. 3.

des Gasinhaltes der Hauptröhre angebracht, auf deren Notwendigkeit und Wirkungsweise in Kap. 2 näher eingegangen werden wird.

Eigenschaften der Kathodenstrahlen

Um nun aber die Vorgänge in der Röntgenröhre zu verstehen, müssen wir zunächst das Wesen, die Entstehungsweise und die Eigenschaften der Kathodenstrahlen etwas eingehender kennen lernen. Dieselben wurden zuerst im Jahre 1859 von Plücker in Bonn beobachtet und zehn Jahre später von Hittorf in Münster eingehend untersucht. Die noch heute geltende Theorie derselben wurde jedoch erst nach einem weiteren Dezennium von Crookes in London auf Grund einer Reihe höchst eleganter Versuche aufgestellt. Nach dieser Theorie haben wir es in den Kathodenstrahlen mit einem in sehr schneller gradliniger Bewegung befindlichen Schwarm sehr kleiner, elektrisch negativ geladener Teilchen zu tun, die man übrigens dieser ihrer elektrischen Ladung wegen jetzt allgemein als „Elektronen" bezeichnet.

Aus dieser Theorie ergibt sich zunächst die Erklärung der oben mitgeteilten Tatsache, daß die Kathodenstrahlen bei ihrer Ausbreitung stets nahezu senkrecht auf den in Frage kommenden Teilen der Oberfläche der Kathode stehen und also bei einer hohlspiegelartigen Form derselben nahezu in einem Punkte vereinigt werden müssen; denn ein von einer elektrisch geladenen Oberfläche abgestoßenes Teilchen muß natürlich, wenn sämtliche Teile der Oberfläche eine gleichstarke Abstoßung ausüben, senkrecht zur Oberfläche abgestoßen werden und also bei einer kugelförmigen Oberfläche auf den Mittelpunkt der Kugel zufliegen.

Jedes dieser abgestoßenen Teilchen stellt ferner, da es ja eine elektrische Ladung mit sich führt, geradezu einen elektrischen Strom dar; und tatsächlich wird auch das ganze Kathodenstrahlenbündel durch einen der Röhre von außen genäherten Magneten in der gleichen Richtung abgelenkt wie ein biegsamer Leiter, in welchem ein gewöhnlicher elektrischer Strom von entsprechender Richtung fließt. Später hat man übrigens die Crookessche Theorie u. a. auch noch dadurch bewahrheitet, daß man nachwies, daß das Kathodenstrahlenbündel sich auch auf elektrostatischem Wege, d. h. durch einen, in der Nähe seiner Bahn aufgestellten, elektrostatisch geladenen Leiter ablenken läßt, und vor allem auch noch dadurch, daß man direkt die elektrische Ladung der Teilchen auf einer in der Röhre passend aufgestellten Metallplatte auffing und dann das negative Vorzeichen dieser Ladung einwandfrei feststellte. In letzterer Beziehung sind besonders die Versuche von Lenard zu erwähnen, der zeigte, daß derjenige Teil der Kathodenstrahlen, welcher durch ein luftdichtes Aluminiumblatt von einigen Tausendstel Millimeter

Dicke hindurchgeht, seine elektrische Ladung gleichfalls mit hindurch trägt — und zwar auch dann, wenn das Blatt elektrisch zur Erde abgeleitet wird. Dieser Versuch läßt ferner erkennen, daß wir es in den Kathodenstrahlenteilchen mit einer Materie zu tun haben müssen, die ganz außerordentlich viel feiner ist, als die gewöhnliche; und tatsächlich hat man denn auch auf Grund einer genauen Beobachtung der Größe der magnetischen Ablenkung eines mit bestimmter elektrischer Spannung erzeugten Kathodenstrahlenbündels berechnet, daß die Masse seiner Teilchen nur ungefähr $^1/_{1800}$ der Masse eines Wasserstoffatomes beträgt, eines Atomes, das ja seinerseits schon von allen bekannten chemischen Atomen die kleinste Masse hat.

Zugleich ergab sich bei diesen Versuchen, daß auch die Geschwindigkeit dieser Kathodenstrahlenteilchen von ganz ungewöhnlicher Größenordnung ist, nämlich in einer Röntgenröhre bis zu etwa $^1/_3$ der Lichtgeschwindigkeit steigen kann. Es ist dies eine Geschwindigkeit, welche die höchsten Werte dieser Größe, welche wir sonst auf der Erde einem materiellen Träger, z. B. einem Geschosse, mitteilen können, um mehr als das 100000fache übertrifft, — ein Teilchen mit der genannten Geschwindigkeit würde z. B. in 1 Sekunde $2^1/_2$ mal um die ganze Erde herumfliegen —, so daß daraus auch die starken mechanischen Wirkungen, welche diese Teilchen trotz ihrer Kleinheit selbst auf die am schwersten schmelzbaren Stoffe ausüben können, verständlich werden.

Harte und weiche Röntgenröhren

Diese Geschwindigkeit der Kathodenstrahlenteilchen ist übrigens für die praktische Anwendung der von ihnen erzeugten Röntgenstrahlen noch von ganz besonderer Bedeutung, insofern nämlich mit jener Geschwindigkeit das Durchdringungsvermögen dieser letzteren Strahlung wächst. Diese Beziehung ist ja auch schon aus theoretischen Gründen nicht ganz unverständlich, insofern nämlich mit der Größe jener Geschwindigkeit natürlich auch die Heftigkeit des Anprallens der Elektronen auf die Antikathode zunimmt. Auch äußerlich zeigt sich der Unterschied zwischen den Röhren mit langsameren und schnelleren Kathodenstrahlenteilchen, d. h. also mit weniger oder stärker durchdringungsfähigen Röntgenstrahlen schon dadurch, daß zum Betrieb der letzteren eine erheblich größere elektrische Spannung notwendig ist, ein Umstand, der ebenfalls leicht verständlich wird, wenn man berücksichtigt, daß ja die elektrische Spannung für die Kathodenstrahlenteilchen sozusagen das treibende Element darstellt.

Nun bezeichnet man aber einen Vakuumapparat, welcher schon mit einer geringen Spannung, d. h. also verhältnismäßig leicht anspricht, in der Technik allgemein als einen weichen, einen solchen dagegen, für dessen Betrieb eine hohe elektrische Potentialdifferenz

nötig ist, als einen harten, so daß wir daher nach Obigem auch sagen können, daß eine weiche Röntgenröhre wenig durchdringungsfähige Röntgenstrahlen, eine harte dagegen solche mit sehr großem Penetrationsvermögen liefert.

In letzter Hinsicht ist übrigens der Grund dieses verschiedenen Verhaltens der verschiedenen Röntgenröhren in der Verschiedenheit des Gasdruckes zu suchen, welcher in ihrem Innern herrscht, indem nämlich dieser Druck — dieselbe Gasart vorausgesetzt — bei einer weichen Röhre stets größer ist als bei einer harten. Genauere Zahlenangaben sind in dieser Beziehung nur schwer zu erhalten, da es sich nämlich hierbei stets nur um äußerst geringe Gasmengen handelt und daher Verunreinigungen durch andere Gase oder Dämpfe leicht zu Fehlern Veranlassung geben. Immerhin sei angeführt, daß bei allmählichem Leerpumpen einer mit gewöhnlicher Luft gefüllten Röntgenröhre der jetzt üblichen Form die in derselben in üblicher Weise erzeugten Röntgenstrahlen erst bei einem Luftdruck von $^1/_{100000}$ des gewöhnlichen ein so großes Durchdringungsvermögen erhalten, daß sie eben die Glaswand der Röhrenkugel zu durchsetzen vermögen und also dann außerhalb der Röhre beobachtet werden können.

Kehren wir indessen zu den Eigenschaften der Kathodenstrahlenteilchen zurück, so folgt übrigens die Tatsache, daß dieselben in einer harten Röhre eine größere Geschwindigkeit haben als in einer weichen, auch schon daraus, daß das Kathodenstrahlenbündel der ersteren durch einen der Röhre von außen genäherten Magneten weniger abgelenkt wird als das einer weichen; denn Teilchen mit größerer Geschwindigkeit sind natürlich weniger leicht von ihrer gradlinigen Bahn abzubringen.

Zerstörung einer Röntgenröhre durch magnetische Ablenkung ihrer Kathodenstrahlen

Diese magnetische Ablenkbarkeit des Kathodenstrahlenbündels hat übrigens auch eine gewisse praktische Bedeutung, insofern dieselbe unter Umständen zur unabsichtlichen Zerstörung der Röntgenröhre führen kann. Denn da der meistenteils zum Betrieb der Röhre dienende Induktionsapparat, wie wir später sehen werden, in seinem Innern eine beträchtliche Eisenmasse enthält, die während des Betriebes stark magnetisch gemacht werden muß, so kann es, wenn die Röhre in allzu großer Nähe des Apparates aufgestellt ist, vorkommen, daß das Kathodenstrahlenbündel derselben so stark abgelenkt wird, daß es — anstatt auf die Antikathode A (Fig. 2 u. 3) — auf die der Kathode gegenüberliegende Glaswand der Röhre fällt, in welchem Falle dann diese in der Regel innerhalb sehr kurzer Zeit durchgeschmolzen wird. Um ein solches Vorkommnis, das nach dem Obigen besonders leicht bei einer weichen Röntgenröhre eintreten kann, zu vermeiden, soll man es sich zum Grundsatz

machen, mit der Röhre stets zum mindesten in $1^1/_2$ m Entfernung vom Induktor zu bleiben und dieselbe ferner bei kleineren Abständen stets in annähernd gleicher Entfernung von den beiden Enden des Apparates zu halten, da nämlich dann die Wirkung der beiden in diesen Enden befindlichen, entgegengesetzt erregten magnetischen Pole desselben sich nahezu aufhebt.

Absorption der Kathodenstrahlen

Von weiteren Eigenschaften der Kathodenstrahlen ist noch zu erwähnen, daß sie von der gewöhnlichen Materie sehr viel stärker absorbiert werden als die Röntgenstrahlen. Um z. B. von einer bestimmten Qualität der ersten Strahlengattung 99 $^0/_0$ zu absorbieren, genügt nach den Messungen von Lenard schon eine Aluminiumfolie von 0,0064 mm und eine Platinfolie von 0,00074 mm Dicke, während die von diesen Kathodenstrahlen erzeugten Röntgenstrahlen nach den Beobachtungen des Verfassers erst durch eine 2,5 mm dicke Aluminium-, bzw. eine 0,024 mm dicke Platinschicht auf denselben Bruchteil abgeschwächt werden.

Gewöhnliches Glas verhält sich in den hier in Rede stehenden Beziehungen fast genau wie Aluminium; und somit sehen wir also, daß in einer Röhre nach Art der Fig. 1 die Kathodenstrahlen bei *B* schon in einer Glasschicht von 0,01 mm Dicke, und diejenigen in einer Röhre nach Art der Figg. 2 oder 3 schon in einer Platinschicht von 0,001 mm Dicke so gut wie vollständig absorbiert sind. Die dabei vor sich gehende Umsetzung derselben in Röntgenstrahlen findet daher fast so gut wie unmittelbar an der Oberfläche der getroffenen Stoffe oder doch in einer so geringen Tiefe unter derselben statt, daß die von hier ausgehenden Röntgenstrahlen nach der Seite der Kathode hin so gut wie ungeschwächt wieder aus dem Stoffe hervorkommen, da ja ihr Durchdringungsvermögen ein so sehr viel größeres ist. Wir werden übrigens später diese Verhältnisse noch genauer ins Auge fassen.

Phosphoreszenzerregung durch Kathodenstrahlen

Kehren wir nämlich wieder zu den Eigenschaften der Kathodenstrahlen zurück, so muß ferner noch der Fähigkeit derselben, in vielen Körpern und u. a. auch im gewöhnlichen Glase ein starkes Phosphoreszenzlicht zu erregen, gedacht werden. Bei einer Röhre nach Art der Fig. 1 sieht man dasselbe direkt an den von dem Bündel getroffenen Teilen der Glaswand bei *B*; in den Röhren nach Art der Figg. 2 und 3 dagegen rührt die Phosphoreszenz des Glases, die sich hier übrigens nahezu gleichmäßig über die ganze, vor der Antikathode *A* gelegene Halbkugel erstreckt, natürlich nicht mehr von dem primären, d. h. ursprünglichen Kathodenstrahlenbündel der Röhre her, da dieses ja auf der Antikathode endigt; sie wird ferner aber auch nicht etwa durch die ebenfalls von *A* ausgehenden und das Glas ebenfalls in der genannten Halb-

kugel durchsetzenden Röntgenstrahlen veranlaßt — denn dann müßten diese Strahlen ja dieselbe Erscheinung in annähernd der gleichen Stärke auch z. B. in dem Glase einer zweiten Röhre erzeugen, welche der Wand der ersten von außen her genähert wird —; sondern sie rührt vielmehr von den sog. sekundären Kathodenstrahlen her, einer Strahlung, die in der Regel als ein an der Antikathode diffus reflektierter Teil des ursprünglichen Kathodenstrahlenbündels der Röhre angesehen wird. Dieselbe besteht nämlich ebenso wie dieses aus elektrisch geladenen Massenteilchen, die sich aber hier nicht senkrecht zur Oberfläche der Antikathode, sondern gleichmäßig nach allen Richtungen hin, d. h. also innerhalb der Röhre in fast der gleichen Weise ausbreiten wie die an derselben Stelle entstehenden Röntgenstrahlen. Während aber diese letzteren bei einer normalen Röhre die Glaswand der letzteren zu einem mehr oder weniger großen Teile durchdringen, werden die sekundären Kathodenstrahlen darin vollständig absorbiert, wie ja auch nach dem, was oben über die starke Absorptionsfähigkeit der Kathodenstrahlenteilchen gesagt wurde, nicht anders zu erwarten ist.

Die Phosphoreszenz, welche die sekundären Kathodenstrahlen in der Glaswand der Röhre hervorrufen, hat übrigens auch eine gewisse praktische Bedeutung; denn da die Stärke der Röntgenstrahlung der Röhre bis zu einem gewissen Grade mit der Stärke ihrer sekundären Kathodenstrahlung parallel zu gehen scheint, so muß es stets als ein gutes Zeichen angesehen werden, wenn das von letzterer hervorgerufene Phosphoreszenzlicht recht kräftig oder die Röhre, wie man sagt, „gut geteilt" ist, d. h. wenn die letztere in den vor ihrer Antikathode gelegenen Teilen der Glaswand stark und in den dahintergelegenen wenig phosphoresziert.

Sekundäre Röntgenstrahlung einer Röntgenröhre

Die sekundäre Kathodenstrahlung, die dieses Phosphoreszenzlicht erregt, ruft übrigens in denselben Teilen der Glaswand noch zwei andere, sehr bemerkenswerte Wirkungen hervor. Ebenso nämlich wie das primäre Kathodenstrahlenbündel auf der Antikathode der Röhre einesteils eine sehr bedeutende Wärmemenge und andernteils daselbst auch die primäre Röntgenstrahlung der Röhre erzeugt, so rufen auch die sekundären Kathodenstrahlen in denjenigen Teilen der Glaswand, in welchen sie zur Absorption gelangen, einesteils eine ganz bedeutende Erwärmung und andernteils auch eine leicht nachweisbare sekundäre Röntgenstrahlung, die sog. „Glasstrahlung" der Röhre, hervor. Nach Versuchen des Verfassers ist die erstere allerdings verhältnismäßig viel beträchtlicher als die letztere; denn danach beträgt bei einer Röntgenröhre mittlerer Härte die ganze von ihrer sekundären Kathodenstrahlung auf der Glaswand erzeugte Wärmemenge etwa 60 % von

derjenigen, welche von dem primären Kathodenstrahlenbündel auf der Antikathode entwickelt wird, während die gesamte sekundäre Röntgenstrahlung derselben Röhre nur etwa 15 % von ihrer gleichartigen primären Strahlung beträgt. Qualitativ dagegen, d. h. hinsichtlich des Durchdringungsvermögens, sind diese beiden Röntgenstrahlungen der Röhre nicht sehr verschieden, denn die Härte der Glasstrahlung ist nach Versuchen des Verfassers nur um eine Nummer der in Kap. 3 zu beschreibenden Benoist-Walterschen Härteskala geringer als die der primären Strahlung der Röhre.

Erwärmung der Glaswand einer Röntgenröhre

Die Erwärmung der phosphoreszierenden Teile der Glaswand einer guten Röntgenröhre durch die sekundäre Kathodenstrahlung ferner ist so stark, daß man sie schon wenige Sekunden nach dem Einschalten des Stromes deutlich mit der Hand fühlen kann, und zwar schon zu einer Zeit, wo z. B. bei einer Röhre mit wassergekühlter Antikathode das Wasser im Antikathodengefäße sich erst in viel geringerem Grade erhitzt hat. Dieser Versuch beweist zugleich, daß die Erhitzung der Glaswand nicht etwa nur, wie vermutet worden ist, durch Wärmeüberstrahlung von seiten der Antikathode her zustande gekommen sein kann; denn dann müßte die letztere natürlich stets viel heißer befunden werden als die erstere. Die Erwärmung der Glaswand muß daher durch einen besonderen Vorgang auf ihr selbst entstanden sein; und dieser Vorgang ist eben die Absorption der sekundären Kathodenstrahlung, genau so wie ja auch die Absorption der primären Kathodenstrahlung auf der Antikathode mit einer starken Wärmeentwicklung verbunden ist. Im übrigen wird aber das Dasein jener sekundären Kathodenstrahlung ja auch noch durch zwei andere, für sie so überaus charakteristische Erscheinungen angezeigt, nämlich einerseits durch die starke Phosphoreszenz der von ihr getroffenen Glasteile und andererseits durch die in diesen Teilen von ihr erzeugte sekundäre Röntgenstrahlung.

Mit dieser letzteren Strahlung werden wir uns übrigens später noch weiter zu beschäftigen haben, insofern sie nämlich für die Güte der mit der primären Strahlung der Röhre hergestellten Bilder von schädlichem Einfluß ist und daher nach Möglichkeit beseitigt werden muß. Vorher ist es jedoch nötig, die Eigenschaften der primären Röntgenstrahlen selbst kennen zu lernen.

Eigenschaften der Röntgenstrahlen

Von denselben mögen zuerst die negativen erwähnt werden, die vorwiegend nur ein theoretisches Interesse haben und sich daher hier sehr kurz erledigen lassen. In dieser Beziehung ist zunächst zu erwähnen, daß die Röntgenstrahlen auch durch die stärksten magnetischen Felder nicht von ihrer gradlinigen Ausbreitung abgelenkt werden können, während bei den Kathodenstrahlen dazu

schon ein kleiner Magnetstab genügt. In theoretischer Hinsicht folgt hieraus offenbar, daß es sich bei der ersteren Strahlung nicht mehr wie bei der letzteren um elektrisch geladene Teilchen handeln kann.

Eine weitere negative Eigenschaft der Röntgenstrahlen ist die, daß von ihnen nicht wie von den Lichtstrahlen beim Eintritt in einen dichteren Stoff an der Grenzfläche des letzteren ein mehr oder weniger großer Teil reflektiert wird, sowie daß bei ihnen auch, wenn dieser Eintritt schräg zur Oberfläche geschieht, keine Brechung, d. h. Änderung der Strahlungsrichtung, stattfindet. In ersterer Hinsicht sei nur ein von Röntgen angestellter Versuch erwähnt, wonach 31 übereinandergelegte Aluminiumblätter von je 0,0299 mm, zusammen also von $31 \cdot 0{,}0299 = 0{,}927$ mm Dicke seine Strahlen nicht stärker absorbierten als eine einzige 0,925 mm dicke Al-Platte, während, wenn gewöhnliches Licht z. B. durch 31 Glasplatten hindurchgeht, von denen jede Oberfläche 4 % desselben reflektieren oder also 96 % hindurchlassen mag, die Intensität des durch alle hindurchgelangenden Lichtes schon allein durch Reflexion an ihren 62 Grenzflächen auf $0{,}96^{62} = 0{,}08$, oder also auf 8 % der ursprünglichen abgeschwächt wird.

Hinsichtlich des Fehlens der Brechung ferner sei nur erwähnt, daß nach den Versuchen des Verfassers eine solche Erscheinung bei den Röntgenstrahlen auch nicht einmal mit einem Prisma aus Diamant nachzuweisen war, einem Stoffe, der bekanntlich die Lichtstrahlen von allen durchsichtigen Stoffen am stärksten bricht.

Auch eine Beugung, wie sie ja das Licht z. B. beim Durchgang durch enge Spalte zeigt, konnte bei den Röntgenstrahlen bisher nicht gefunden werden, trotzdem gerade auf diese Versuche ganz besondere Sorgfalt verwandt worden ist, um nämlich daraus ev. für unsere Strahlen eine Wellenlänge abzuleiten. Weiter unten gegen den Schluß dieses Kapitels — bei der Darlegung der gegenwärtig herrschenden Anschauungen über das Wesen der Röntgenstrahlen — wird auch auf diese Versuche noch etwas näher eingegangen werden.

Von den positiven Eigenschaften der Röntgenstrahlen ferner, zu denen wir jetzt übergehen, kommt hier zunächst in Betracht, daß sie sowohl auf die photographische Platte einwirken als auch gewisse Stoffe zur Fluoreszenz bzw. Phosphoreszenz erregen. Auf die erstere dieser Eigenschaften gründet sich die Röntgenographie, d. h. die Aufnahme des zu untersuchenden Körperteils auf photographischen Platten oder Films, auf die zweite ferner die sog. Röntgenoskopie, d. h. die Untersuchung mit

dem Leuchtschirm. Das erstere Verfahren ergibt erheblich deutlichere Bilder als das letztere, während dieses wieder weniger umständlich und daher bedeutend vielseitiger ist als jenes und vor allem auch die Organe in der Bewegung beobachten läßt, so daß es daher in den meisten Fällen am ratsamsten sein dürfte, den betr. Körperteil zuerst mit dem Leuchtschirm nach allen möglichen Richtungen hin zu untersuchen und dann denselben erforderlichenfalls in den hierbei am zweckmäßigsten befundenen Richtungen und Stellungen zu röntgenographieren.

Röntgenplatten

Was nun zunächst die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Platte des näheren angeht, so scheint die Empfindlichkeit der letzteren für diese Strahlengattung zwar im allgemeinen mit derjenigen für Lichtstrahlen parallel zu gehen, andererseits existieren hier aber doch auch wieder sehr bemerkenswerte Ausnahmen. So sind z. B. die sog. Σ-Platte von Lumière sowie auch die neueste Platte derselben Fabrik in violettem Umschlag, die für Licht bzw. 3 und 6 mal so empfindlich sind wie die höchstempfindlichen Platten der meisten anderen Fabriken, für Röntgenstrahlen nur wenig empfindlicher als diese; und da sie außerdem nicht immer schleierfrei arbeiten, so ist ihre Verwendung in der Röntgenographie nicht einmal zu empfehlen, sondern eine etwas weniger empfindliche, dafür aber möglichst klar arbeitende Platte vorzuziehen. Tatsächlich bringt denn auch die genannte Fabrik selbst sog. „Röntgenplatten“ (plaques spéciales pour la radiographie) in den Handel, die nach ihrer eigenen Angabe nur die Empfindlichkeit ihrer gewöhnlichen Platte mit blauem Umschlag haben und sich von dieser nur durch eine etwas dicker gegossene Schicht unterscheiden. Diese Maßnahmen der Fabrik sind durchaus berechtigt; denn während die Lichtstrahlen in der empfindlichen Schicht einer photographischen Platte eine sehr starke Absorption erleiden und daher in der Hauptsache nur in den oberflächlichen Teilen derselben wirken, durchsetzen die Röntgenstrahlen die Emulsion mit größter Leichtigkeit, so daß es daher auch gerechtfertigt erscheint, durch Vergrößerung der Schichtdicke die Zahl der von den Strahlen beeinflußten Bromsilberteilchen und so schließlich bei der Entwicklung der Platte die Schwärzung derselben zu vermehren. Die früher in dieser Richtung angestellten Versuche scheiterten jedoch meistenteils daran, daß man nicht darauf Rücksicht nahm, daß bei einer solchen dicker gegossenen Platte der Entwickler, um in den tieferen Schichten der Emulsion zu wirken, natürlich eine erheblich längere Zeit einwirken muß, was dann bei den gewöhnlichen Emulsionen in den oberen Schichten derselben meistenteils schon eine Verschleierung bewirkte; und es war daher

ein sehr richtiger Gedanke der Lumièreschen Fabrik, für ihre Röntgenplatten eine wenn auch nicht so empfindliche, dafür aber möglichst klar arbeitende Emulsion auszuwählen. Eine solche kann nämlich wesentlich länger entwickelt werden, ohne Schleier zu bilden, als eine jener Emulsionen mit künstlich hochgeschraubter Empfindlichkeit; und so zeigte denn auch bei den vergleichenden Versuchen des Verfassers (s. Verhandl. d. deutsch. Röntgen-Ges. Bd. 4, S. 59) bei Anwendung von Röntgenstrahlen die Lumièresche Röntgenplatte unter einer ganzen Anzahl gewöhnlicher und „Röntgenplatten" die größten Kontraste.

Hinsichtlich der Bezeichnung „Röntgenplatte" mag noch erwähnt werden, daß manche Fabriken unter diesem Namen Platten in den Handel bringen, die sich von ihren gewöhnlichen lediglich dadurch unterscheiden, daß sie sich in sog. Einzelpackung in der Schachtel befinden, d. h. daß jede Platte schon für sich in lichtdichtes Papier eingeschlagen ist, um dem Benutzer diese Mühe zu ersparen. Hierzu ist indessen zu bemerken, daß eine Platte, deren empfindliche Schicht längere Zeit mit Papier in Berührung gewesen ist — auch wenn es sich dabei um paraffiniertes Papier handelt — an diesen Stellen bei der Entwicklung leicht Flecke bekommt, so daß daher die gewöhnliche Packung der Platten, bei der die empfindliche Schicht weder mit dem Einwickelpapier noch mit dem Glas der Nachbarplatte in Berührung kommt, entschieden vorzuziehen ist.

Gehen wir sodann zu den in der Röntgenoskopie benutzten Leuchtschirmen über, so kommt gegenwärtig hierfür nur das Bariumplatincyanür in Betracht, ein Salz, dessen starke Fluoreszenz ja auch schon die Entdeckung der Strahlen herbeigeführt hat Das Leuchten desselben ist als eine „Fluoreszenz" zu bezeichnen, d. h. es verschwindet unmittelbar mit dem Aufhören der erregenden Strahlung, während es bei anderen Salzen, z. B. dem Scheelit (wolframsauren Kalk) und besonders auch bei der Zinkblende, noch längere Zeit nach dem Aufhören der Bestrahlung fortdauert und dann eine „Phosphoreszenz" darstellt. Von andern, unter dem Einfluß der Röntgenstrahlen stark leuchtenden Stoffen sei noch das Willemit erwähnt, ein seltenes, aus kieselsaurem Zink bestehendes Mineral, das fast genau so stark fluoresziert wie das Bariumplatincyanür und auch annähernd mit derselben gelbgrünen Farbe. Die Zinkblende dagegen, die aus künstlich kristallisiertem Schwefelzink besteht, leuchtet während der Bestrahlung bläulich und nach derselben grünlich, so daß es sich hier also um ein Gemisch von Fluoreszenz und Phosphoreszenz in je einer besonderen Farbe zu handeln scheint. Bemerkenswert ist noch, daß außer

Leuchtschirme

den beiden schon genannten Zinkverbindungen auch noch das häufig als weiße Malerfarbe benutzte *Zinkoxyd* unter dem Einflusse der Röntgenstrahlen leuchtet, so daß also das Zinkatom von unseren Strahlen mit besonderer Leichtigkeit erregt zu werden scheint.

Verstärkungsschirme

Wegen der ziemlich starken *blauen* Phosphoreszenz des Scheelits hat man dieses Material übrigens — besonders in den ersten Jahren nach der Entdeckung unserer Strahlen — dazu benutzt, um daraus sog. Verstärkungsschirme für röntgenographische Aufnahmen zu verfertigen. Der Gedanke, welcher diesen Schirmen zugrunde liegt, ist der, die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die photographische Platte durch diejenige des Lichtes, welches die Strahlen in einem solchen Leuchtschirm erregen, zu verstärken. Da nun aber die gewöhnlichen photographischen Platten hauptsächlich für blaues und violettes Licht empfindlich sind, so kann man daher in diesem Falle nicht das gelbgrün fluoreszierende Bariumplatincyanür, sondern nur eine *blau* fluoreszierende Substanz, wie z. B. das Scheelit anwenden. Zu diesem Zwecke wird die fein gepulverte Substanz in regelmäßiger Schicht auf dünne weiße Pappe gesiebt und zum Schutze gegen Staub und Feuchtigkeit mit Lack überzogen. Der Schirm wird dann mit der Schichtseite gegen die Schichtseite der photographischen Platte gelegt, so daß er also bei der Aufnahme der Röntgenröhre zugekehrt ist. Wenn es auf noch größere Verstärkung des Bildes ankommt, so kann man sogar *zwei* solche Verstärkungsschirme zugleich benutzen, von denen der zweite dann *unter* die empfindliche Schicht zu legen ist; man hat dann aber nicht mehr photographische Platten, sondern *Films* anzuwenden — und zwar hauptsächlich, weil das Zelluloid der letzteren die Röntgenstrahlen erheblich weniger absorbiert als das Glas der ersteren und somit auch der hinter der Schicht liegende Schirm noch fast ebenso stark zum Leuchten gebracht wird wie der davor befindliche. Auf diese Weise kann man dann die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Platte nahezu verzehnfachen und also mit einer etwa 10 mal kürzeren Expositionszeit arbeiten; das ganze Verfahren hat jedoch vor der gewöhnlichen Aufnahmemethode ohne Verstärkungsschirm den großen Nachteil, daß die Bilder erheblich undeutlicher werden. Es liegt dies daran, daß die von den Röntgenstrahlen getroffenen Teilchen des Leuchtschirmes ihr Licht — genau wie eine kleine brennende Laterne — *nach allen Seiten hin* aussenden, so daß also in einem solchen mit Verstärkungsschirm hergestellten Bilde ein schroffer Übergang von hell zu dunkel unmöglich ist. Die Undeutlichkeit wird natürlich noch größer, wenn der Abstand des Schirmes von der photo-

graphischen Schicht wächst, und sie ist also bei Anwendung zweier Schirme beträchtlicher als mit einem einzigen, unmittelbar auf der Schicht aufliegenden. Andererseits würde sie aber auch selbst dann noch vorhanden sein, wenn man, wie mehrfach vorgeschlagen wurde, die leuchtende Substanz direkt in die empfindliche Schicht der photographischen Platte mit hineinarbeiten würde, denn auch dann noch sendet jedes leuchtende Teilchen der Schirmsubstanz sein Licht nach allen Seiten hin aus, und ein scharfer Übergang von hell zu dunkel kann also auch in einem solchen Bilde nicht zustande kommen.

Wirkungen bei längerer Behandlung mit Röntgenstrahlen

Außer der photographischen Platte und den phosphoreszierenden bzw. fluoreszierenden Substanzen werden nun aber auch noch verschiedene andere Stoffe von den Röntgenstrahlen beeinflußt — wenn auch meistens erst nach viel längerer Bestrahlung. In erster Linie sind hier gewisse Zellen des menschlichen und tierischen Körpers zu nennen, auf deren Empfindlichkeit ja die bereits so ausgedehnte therapeutische Verwendung unserer Strahlen beruht. Weiter verändern sich aber auch eine Reihe anorganischer Stoffe nach längerer Behandlung mit Röntgenstrahlen; und zwar werden diese Stoffe dann meistenteils auch vom Lichte in ähnlicher Weise beeinflußt. Außer dem Bromsilber gehören hierzu u. a. das Selen, ferner gewisse Jod- und Quecksilberverbindungen, dann das Bariumplatincyanür und endlich auch sogar das gewöhnliche Glas.

Die Veränderung selbst ferner besteht beim Selen darin, daß der elektrische Widerstand dieses Stoffes allmählich durch die Bestrahlung erniedrigt wird, um nach derselben wieder in die Höhe zu gehen. Bei den Jod- und Quecksilberverbindungen andererseits werden gewisse lösliche Salze dieser Elemente durch die Strahlung in unlösliche verwandelt, so daß sich in der Lösung der ersteren allmählich ein Niederschlag der letzteren ansammelt. Beim Bariumplatincyanür, den Gläsern, sowie auch verschiedenen andern festen Substanzen (Salzen, Edelsteinen usw.) endlich besteht die Wirkung der Strahlen in einer Veränderung der Farbe dieser Stoffe, indem dabei z. B. diejenige der erstgenannten Leuchtschirmsubstanz von ihrem gewöhnlichen Gelbgrün allmählich in Hellgelb, dann in Rotgelb und schließlich in Rot übergeht. Von den Gläsern ferner färbt sich das gewöhnliche Fensterglas unter der Einwirkung der Strahlen gelb, das sog. Flaschenglas dagegen, aus dem kristallklare Flaschen sowie auch die Röntgenröhren geblasen werden, violett; und diese Färbung kann man daher auch an jeder solchen, längere Zeit in Betrieb gewesenen Röhre beobachten, wenn auch natürlich nur an denjenigen Teilen derselben, welche längere Zeit von ihrer eigenen Röntgenstrahlung getroffen worden sind.

Dieselben müssen daher nach dem Obigen ausschließlich vor der Vorderfläche der Antikathode liegen, so daß es sich also z. B. in den Röhren der Figg. 2 und 3 hierbei um diejenigen Teile handelt, welche sich von *F* über *C*, *N*, *H* und *B* bis *E* hin erstrecken. Der Umstand, daß diese Teile der Röhrenwand sich in einer stark gebrauchten Röhre allmählich immer stärker violett färben, ist daher nicht etwa als ein Fehler sondern vielmehr als ein Vorzug der Röhre anzusehen; denn je reiner diese Farbe in den betreffenden Röhrenteilen hervortritt, um so sicherer ist man, daß beim Betriebe der Röhre keine Zerstäubung von Metall innerhalb derselben stattgefunden hat, ein Vorgang, der nämlich entweder auf eine fehlerhafte Bauart oder eine falsche Betriebsweise der Röhre zurückzuführen ist, und der natürlich jene durch die Röntgenstrahlen selbst bewirkte und daher unvermeidliche Violettfärbung des Glases stets mehr oder weniger verdeckt. Darum muß es also das Bestreben des Röntgenologen sein, diese violette Färbung so rein wie möglich herauszuarbeiten; denn nur dann hat er die Genugtuung, daß er seine Röhre so sachgemäß wie möglich betrieben hat.

Ionisierung von Gasen durch Röntgenstrahlen

Von den weiteren positiven Eigenschaften der Röntgenstrahlen ist sodann die eigentümliche Fähigkeit derselben zu erwähnen, elektrische geladene Körper, auf welche sie treffen, zu entladen. Diese Wirkung findet aber nur dann statt, wenn diese Körper von Luft oder einem anderen Gase umgeben sind, so daß man also schließen muß, daß es sich hierbei ursprünglich um eine Wirkung der Röntgenstrahlen auf diese gasförmigen Körper selbst handelt. Tatsächlich besteht dieselbe darin, daß die Moleküle der betreffenden Gase — unter Beibehaltung ihrer gewöhnlichen Masse — sich dabei teils positiv, teils negativ elektrisch laden; und man bezeichnet deshalb diese geladenen Moleküle als „Ionen“ und den ganzen Vorgang selbst als eine „Ionisation“ des Gases.

Wenn nun solche Ionen in der, einen elektrisch geladenen Körper, also z. B. ein geladenes Elektroskop umgebenden Luft gebildet werden, so wird dieser Körper offenbar die gleichnamig geladenen Gasionen abstoßen und die ungleichnamig geladenen anziehen. Die letzteren werden also auf den Körper zufliegen und bei der Berührung ihre Ladung an ihn abgeben, womit dann gleichzeitig ein entsprechender Teil der Ladung des Körpers selbst verschwindet und so der letztere selbst also allmählich neutralisiert wird, was sich im Falle des Elektroskopes einfach daran zeigt, daß seine durch die Ladung auseinander gespreizten Metallblättchen allmählich zusammenfallen. Dieser Ladungsverlust wird ferner um so schneller vor sich gehen, je größer die Zahl der in der Zeiteinheit im Gase gebildeten ionisierten Teilchen ist, eine Zahl, die ihrerseits natürlich

von der Intensität der Röntgenstrahlung abhängig ist, so daß man diese Wirkung mithin auch zur Messung der Intensität der Röntgenstrahlen benutzen kann.

Tatsächlich hat denn auch neuerdings Villard in Paris zwei auf dieser Wirkung beruhende Apparate angegeben, von denen der eine direkt als Zähler der beim Betriebe der Röhre von ihr ausgesandten Röntgenstrahlenmenge und der andere zur Messung der Härte ihrer Strahlung dienen soll und diese Härte direkt durch den Ausschlag der Nadel eines Elektrometers angibt. Beide Instrumente sind jedoch bisher noch nicht in die Praxis eingeführt.

Ausbreitung der Röntgenstrahlen

Kehren wir indessen zu den Eigenschaften der Röntgenstrahlen zurück, so haben wir nunmehr die Art ihrer Ausbreitung zu betrachten. Dieselbe ist unter allen Umständen eine geradlinige; denn eine Brechung, Reflexion oder Beugung wie bei den Lichtstrahlen existiert hier, wie bereits erwähnt wurde, nicht. Hieraus ergibt sich, daß eine Konzentration der Strahlen durch Linsen oder Spiegel natürlich nicht möglich ist; und tatsächlich sind denn auch die Röntgenbilder, welche wir auf dem Leuchtschirm beobachten oder mit der photographischen Platte aufnehmen, nichts anderes als einfache Schattenbilder; und die größere Mannigfaltigkeit in diesen Bildern gegenüber den optischen Schattenbildern entsteht lediglich dadurch, daß unsere Strahlen von den ihnen in den Weg gestellten Gegenständen nicht bloß — wie das Licht in den meisten Fällen — die Umrisse, sondern auch die inneren Teile auf den Auffangeschirm projizieren, — diese Teile aber allerdings nur dann, wenn dieselben die Strahlen erheblich stärker oder erheblich schwächer absorbieren als ihre Umgebung. Indem wir jedoch die Erörterung dieser, durch die verschiedene Absorption der Röntgenstrahlen in den verschiedenen Stoffen bedingten Unterschiede in den Röntgenbildern auf später verschieben, wollen wir hier zunächst nur die geometrischen Grundlagen der letzteren betrachten.

Zu diesem Zwecke nehmen wir zunächst an, daß die Strahlung der Röhre von einem einzigen Punkte der Antikathode ausgeht, sich von hier aus nach allen in Frage kommenden Richtungen mit gleicher Stärke ausbreitet und ferner auch in der als Ausbreitungsmedium gedachten gewöhnlichen Luft keine merkliche Absorption erfährt, drei Annahmen, die allerdings, wie wir später sehen werden, sämtlich nur angenähert richtig sind.

Aus der strahlenförmigen Ausbreitung folgt dann zunächst das bekannte Gesetz, daß die Wirkung der Strahlung umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes zwischen Strahlenzentrum und auffangender Fläche zunimmt, so daß wir also z. B. bei doppeltem Abstande beider viermal und

bei dreifachem neunmal so lange exponieren müssen, um dieselbe Wirkung zu erhalten.

Der Grund dieses Gesetzes leuchtet sofort ein, wenn man einen bestimmten Teil der Strahlung für sich betrachtet, z. B., wie in Fig. 4 geschehen ist, den vom Zentrum A sich innerhalb der vier Seitenflächen der gleichseitigen Pyramide $ABCDE$ ausbreitenden. Wenn dann die Fläche $B'C'D'E'$ im doppelten Abstande von $BCDE$ angenommen wird, so ist bekanntlich $B'C' = 2BC$ und mithin das Quadrat $B'C'D'E' = 4BCDE$, d. h. die Strahlung verteilt sich in $B'C'D'E'$ auf die 4fache Fläche wie in $BCDE$ und kann also dort auch nur $^1/_4$ der Wirkung ausüben wie hier. Ist allgemein der Abstand des Strahlenzentrums von $B'C'D'E'$ gleich a cm und derjenige von $BCDE$ gleich 1 cm, so ist die erstere Fläche a^2 mal so groß wie die letztere und die Wirkung in jener also $\frac{1}{a^2}$ von der in dieser, wie das obige Gesetz es besagt.

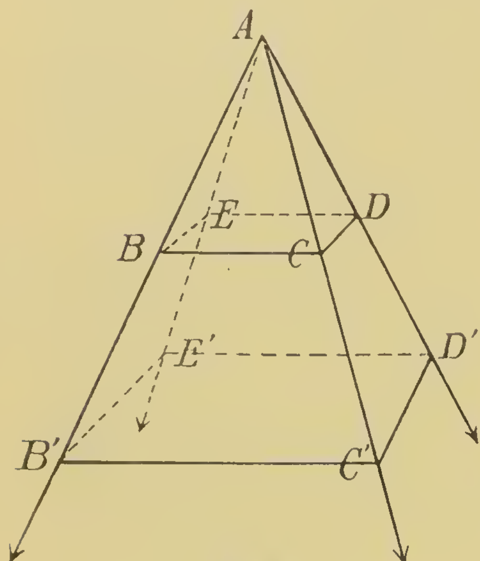


Fig. 4.

Wenn demnach aus diesem Grunde auch das Bestreben des Röntgenographen, mit der bildauffangenden Schicht so nahe wie möglich an das Strahlenzentrum der Röhre heranzukommen, berechtigt ist, so muß derselbe dabei doch stets im Auge behalten, daß der Patient und vor allem die vordere Hautoberfläche desselben dadurch jenem Zentrum noch viel näher steht, so daß dabei dieser Haut, zumal wenn die Untersuchung längere Zeit in Anspruch nimmt, unter Umständen schwere Schädigungen zugefügt werden können. Denn auch für die Wirkung der Strahlen auf die Haut gilt natürlich das obige Gesetz, so daß man daher — zumal bei länger dauernden Durchleuchtungen — gut tut, mit dem Patienten stets in mindestens 15 cm Abstand von der Glasoberfläche der Röhre zu bleiben.

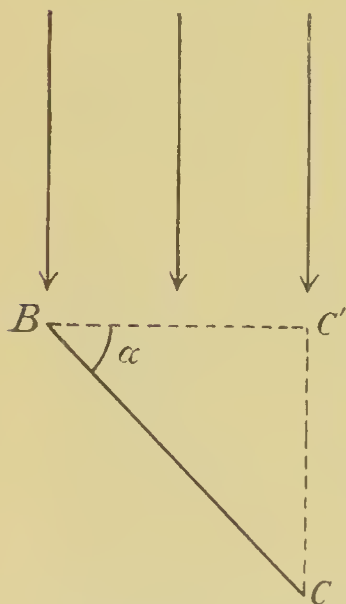


Fig. 5.

Ferner ist nun, zumal bei der therapeutischen Anwendungsweise der Röntgenstrahlen, noch zu berücksichtigen, daß die bestrahlte Fläche oder doch wenigstens Teile derselben häufig nicht senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung der Strahlen stehen, sondern mit dieser, als

„Normalstellung" anzusehenden Stellung einen mehr oder weniger großen Winkel α bilden. Die Fig. 5, in welcher BC ein solches, schräg zur Strahlungsrichtung liegendes Flächenstück im Durchschnitt darstellen mag, zeigt dann ohne weiteres, das dasselbe von der Strahlung nicht mehr auffängt als das Flächenstück BC', das um den Bruchteil cos α kleiner ist als BC, so daß also die Wirkung auf BC ebenfalls um den Bruchteil cos α kleiner sein wird als die auf BC'.

Diese beiden „geometrischen Wirkungsgesetze der Strahlung" zusammenfassend, kann man daher sagen, daß die Wirkung w einer bestimmten Strahlung auf ein Flächenstück, welches sich im Abstande a vom Strahlenzentrum befindet und mit der auf der Ausbreitungsrichtung senkrechten Stellung, der Normalstellung, den Winkel α bildet, sich durch die Gleichung

1) $$w = \frac{\cos \alpha}{a^2}$$

bestimmt, wobei die im Abstande 1 cm von der Strahlenquelle auf ein in Normalstellung befindliches Flächenstück ausgeübte Wirkung als Einheit gedacht wird.

Als Beispiel vergleichen wir die Wirkung einer bestimmten Strahlung auf zwei Flächenstücke I und II, von denen das erstere 20 und das zweite 30 cm von der Antikathode der Röhre entfernt ist, und von denen das erstere sich in Normalstellung befindet, während das zweite einen Winkel von 45^0 damit bilden möge. Die Wirkung auf I ist dann nach Gleichung 1) gleich $\frac{1}{20^2} = \frac{1}{400}$ der oben definierten Einheitswirkung, diejenige auf II dagegen nur $\frac{\cos 45}{900} = \frac{0,707}{900} = \frac{1}{1272}$ davon. Die Wirkung auf I ist also um das $\frac{1272}{400} =$ 3,18 fache größer als die auf II; und die letztere muß demnach 3,18 mal so lange exponiert werden wie die erstere, wenn beide die gleiche Strahlenmenge erhalten sollen. Würden sich beide Flächenstücke in Normalstellung befinden, so wäre II nur $\frac{900}{400} =$ 2,25 mal solange zu bestrahlen wie I.

Vergrößerung im Röntgenbilde

Ein zweiter Umstand, der durch die radiale Ausbreitung der Röntgenstrahlen veranlaßt wird und hier näher erörtert werden muß, ist der, daß die sämtlichen, durch die Strahlen entworfenen Bilder den dargestellten Gegenstand stets mehr oder weniger stark vergrößert zeigen. Dies erhellt unmittelbar aus der Fig. 6, in der A das Strahlenzentrum, SS die bildauffangende Schicht, d. h. also den Leuchtschirm oder die photographische Platte, und ferner K_1 und K_2 zwei gleich breite aber in verschiedenem Abstande von SS liegende Gegenstände, also

z. B. einen vorderen und einen hinteren Rippenbogen des Menschen darstellen. Die Figur zeigt dann unmittelbar, daß sowohl das Bild K'_1 von K_1 als auch das Bild K'_2 von K_2 im Vergleich mit dem zugehörigen Gegenstand vergrößert ist; und zugleich erkennen wir daraus, daß das Bild des weiter von SS entfernt liegenden K_2 ganz erheblich viel mehr vergrößert ist als das von K_1. Bei stärkeren Organen wird man daher denjenigen Teil desselben, der bei der Abbildung besonders in Frage kommt, schon aus diesem Grunde so nahe wie möglich an die Schicht SS heranbringen — und zwar um so mehr, als dadurch, wie wir später sehen werden, auch die Schärfe und Deutlichkeit der Abbildung dieses Teiles ganz erheblich wächst.

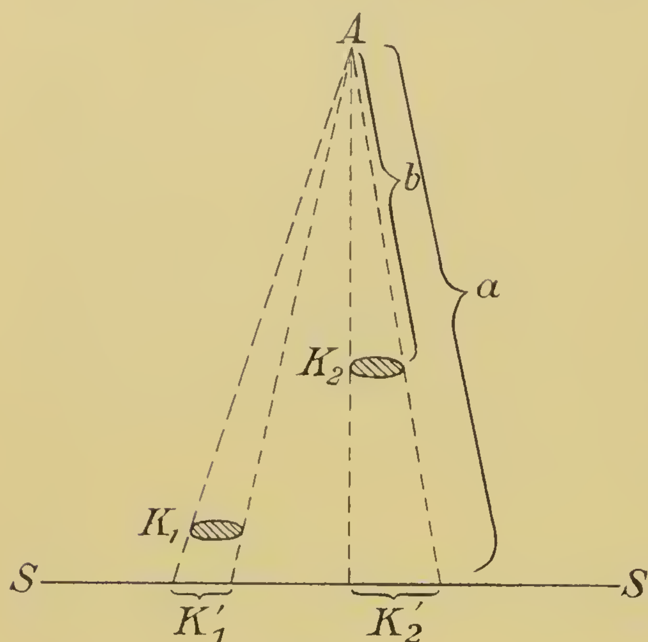


Fig. 6.

Will man andererseits in einem Röntgenbilde einen dickeren Körperteil seiner ganzen Dicke nach möglichst in natürlicher Größe abbilden, oder handelt es sich — wie z. B. bei den Herzmessungen — um die möglichst genaue Bestimmung der natürlichen Größe eines Organes, das sich nicht vollständig an die Platte heranbringen läßt, so kann man dies dadurch erreichen, daß man das Strahlenzentrum A der Röhre erheblich weiter vom Schirme SS entfernt, wie denn auch bei der Bestimmung der Herzgröße mit Röntgenstrahlen mit Entfernungen bis zu 3 m gearbeitet wird.

Die Vergrößerung eines Röntgenbildes läßt sich natürlich auch zahlenmäßig ausdrücken; denn nach Fig. 6 verhalten sich ja die Größen von Bild und Gegenstand wie die Entfernungen a und b derselben vom Strahlenzentrum A, so daß sich also die „Vergrößerung“ v durch die Gleichung

2) $$v = \frac{a}{b}$$

bestimmt.

Ist also z. B. $a = 50$ cm und $b = 30$ cm, so wird $v = \frac{50}{30} = 1{,}67$, und die Vergrößerung ist also eine 1,67 fache oder 67 %. Diesem Fall entspricht K_2 in der Fig. 6. Ist dagegen wie bei K_1 der Abstand $b = 45$ cm und a wie früher $= 50$ cm, so wird $v = \frac{50}{45} = 1{,}11$, und der Gegenstand ist also nur um 11 % vergrößert.

Um ferner auch noch die Vergrößerung bei Herzmessungen zu berechnen, berücksichtigen wir zunächst, daß nach Albers-Schönberg (Fortschritte Bd. 12, S. 42) der Abstand des in Frage kommenden größten Querschnittes des Herzens von der vorderen Brustwand beim Erwachsenen im Mittel 7 cm beträgt, so daß also, wenn der Abstand a des Strahlenzentrums von der bildauffangenden Schicht 3 m beträgt und die letztere der Brustwand dicht anliegt, $b = 293$ cm und mithin $v = \frac{300}{293} = 1{,}023$ wird. Die Vergrößerung beträgt also selbst in diesem Falle noch $2{,}3\,\%$. Für $a = 150$ cm ist sie in diesem Falle schon $4{,}9\,\%$ usw.

Will man umgekehrt aus der Größe des Bildes die des Gegenstandes selbst berechnen, so hat man die erstere natürlich mit dem reziproken Werte von v, d. h. also mit dem Bruch $\frac{b}{a}$, zu multiplizieren.

Alle diese, auf die Vergrößerung bezüglichen Bemerkungen gelten übrigens nicht bloß in dem oben angenommenen Falle, daß die Strahlenquelle A ein mathematischer Punkt ist, sondern auch für den in Wirklichkeit vorliegenden, daß A eine gewisse Flächenausdehnung besitzt, d. h. daß das Kathodenstrahlenbündel auf der Antikathode keinen genauen „Brennpunkt“ sondern einen „Brennfleck“ von einigen Millimetern linearer Ausdehnung erzeugt. Denn diese letztere Ausdehnung ist hinsichtlich der Vergrößerung der in der Praxis vorliegenden Objekte stets zu vernachlässigen — dagegen nicht hinsichtlich der Bildschärfe ihrer Abbildungen, ein Punkt, mit dem wir uns jetzt beschäftigen wollen.

In dieser Hinsicht ist zunächst zu erwähnen, daß nach den Untersuchungen von Gocht, Halle (s. Verhandl. d. Deutschen Röntgen-Gesellsch. Bd. 1), der Brennfleck auf der Antikathode einer Röntgenröhre in der Regel in der Richtung des in den Figg. 2 und 3 gezeichneten Querschnittes derselben, den wir übrigens in Zukunft den „ersten Hauptschnitt“ der Röhre nennen wollen, etwas in die Länge gezogen ist, d. h. also annähernd die Form einer Ellipse hat, deren größter Durchmesser eben in dem genannten Hauptschnitt und deren kleinster in dem durch A senkrecht dazu gemachten Durchschnitt der Röhre liegt, den wir hinfort als „zweiten Hauptschnitt“ derselben bezeichnen. Der Grund der Ellipsenform des Brennflecks ist natürlich einfach darin zu suchen, daß das primäre Kathodenstrahlenbündel der Röhre in der Regel die Form eines Kreiskegels hat, und daß demnach die unter einem Winkel von 45^0 gegen die Achse dieses Kegels gestellte Antikathode aus ihm eine Ellipse von der beschriebenen Lage herausschneiden muß. Unschärfe der Röntgenbilder

Diese Tatsache selbst ist nun aber für uns ein erster Grund —

andere werden wir später kennen lernen — dafür, in der Praxis von den von der Antikathode ausgehenden Röntgenstrahlen immer möglichst diejenigen aus der Umgebung des Hauptstrahles AH der Röhre (s. die Figg. 2 und 3) und nicht etwa diejenigen zu benutzen, welche um den auf der Antikathode senkrecht oder normal stehenden Strahl AN, den „Normalstrahl", herum liegen; denn für die letztere Richtung wird die beschriebene längliche Gestalt des Brennfleckes offenbar in ihrer vollen Wirkung zur Geltung kommen — und zwar in der Weise, daß alle Punkte des abgebildeten Gegenstandes in der Richtung des ersten Hauptschnittes, in welche ja der Brennfleck seine größte Ausdehnung hat, unschärfer werden als in jeder andern Richtung. Von H aus gesehen dagegen wird dieser im ersten Hauptschnitt gelegene Durchmesser des Brennfleckes verkürzt erscheinen, der im zweiten Hauptschnitt liegende dagegen nicht, so daß mithin für diese Richtung die Ellipsenform des Fleckes gewissermaßen wieder auf die Kreisform reduziert wird, oder also mit andern Worten die in AH gelegenen Punkte des abzubildenden Körperteiles nach allen Richtungen hin mit gleicher Schärfe abgebildet werden.

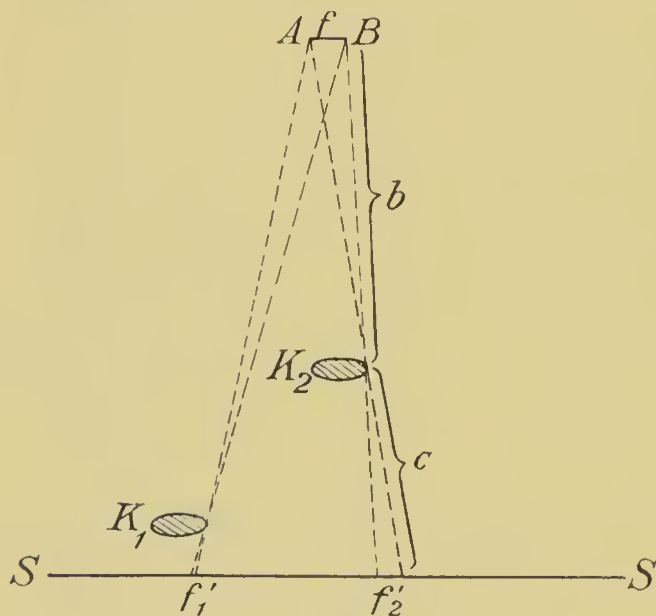


Fig. 7.

Deshalb können wir auch für unsere folgenden, sich auf die Unschärfe der Röntgenbilder beziehenden Betrachtungen den Brennfleck der Röhre einfach als einen Kreis annehmen; und zwar möge nun der Durchmesser dieses Kreises in Figur 7 durch die Strecke $AB = f$ dargestellt werden, die natürlich hier in Vergleich zu den andern Strecken der Figur im Interesse der Deutlichkeit erheblich vergrößert werden mußte. In Wirklichkeit beträgt nämlich die Länge f, die ja nach den obigen Bemerkungen durch den in den zweiten Hauptschnitt der Röhre fallenden Durchmesser des Brennfleckes derselben dargestellt wird, bei einer normalen Röntgenröhre mittlerer Härte nur etwa 2—3 mm; jedoch ist hierbei zu erwähnen, daß sich einesteils diese Größe bei der gleichen Röhre etwas mit der Härte derselben ändert, und daß man andernteils auch, um eine Zerstörung des Antikathodenmetalles durch das allzu konzentrierte Kathodenstrahlenbündel zu verhindern, zumal solche

Röhren, welche für Momentaufnahmen oder für therapeutische Bestrahlungen dienen sollen, absichtlich mit unschärferem Brennpunkt versieht.

Über die, durch die nicht punktförmige Gestalt des Brennfleckes *f* in den Bildern irgend eines Gegenstandes *K* bedingte Unschärfe läßt sich nun einfach dadurch Aufschluß gewinnen, daß man wie in Fig. 7 geschehen ist, den fraglichen Punkt des Gegenstandes mit den beiden Endpunkten *A* und *B* des Brennfleckdurchmessers *f* verbindet und die Verbindungslinien rückwärts bis zum Schnittpunkt mit der Bildfläche *SS* verlängert. Durch je zwei solche zusammengehörige Linien werden nämlich offenbar alle diejenigen Strahlen begrenzt, welche sich in der in der Figur dargestellten Ebene an der Abbildung des fraglichen Punktes beteiligen, oder es wird — räumlich betrachtet — die von diesen Linien auf *SS* herausgeschnittene Strecke *f'* den Durchmesser desjenigen „Zerstreuungskreises“ darstellen, zu welchem der betreffende Objektpunkt im Bilde auseinandergezogen ist, so daß wir also auch *f'* direkt als die „Unschärfe“ des Bildes bezeichnen können.

Nennen wir nun *c* den Abstand des abzubildenden Punktes von dem Schirm *SS* und *b* wie früher die Entfernung desselben vom Brennfleck — beide auf derselben Graden gemessen — so zeigt die Fig. 7 unmittelbar, daß sich die Unschärfe *f'* durch die Gleichung

3) $$f' = f \cdot \frac{c}{b}$$

bestimmt. Dieselbe wächst also einesteils mit der Größe des Brennfleckes *f* und anderntcils auch mit der des Abstandes *c* des abzubildenden Punktes von der bildauffangenden Schicht; sie verkleinert sich dagegen, wenn der Abstand *b* des Brennfleckes von dem Objekt zunimmt.

Zur Erzielung einer möglichst großen Schärfe — bei bestimmter Größe des Brennfleckes — ist es also in erster Linie erforderlich, den Abstand *c* des abzubildenden Gegenstandes vom Schirm *SS* soweit als möglich zu verkleinern, wie ja auch die Fig. 7 unmittelbar erkennen läßt, daß der der Schicht *SS* nähere Körper K_1 ein viel kleineres *f'* besitzt als der entferntere K_2. In zweiter Linie kann man dieses Ziel aber nach Formel 3 auch noch dadurch erreichen, daß man den Abstand *b* der Röhre vom Objekt vergrößert, eine Maßregel, mit der aber nach den oben dargelegten geometrischen Wirkungsgesetzen der Strahlung stets eine beträchtliche Vermehrung der aufzuwendenden Strahlungsenergie, d. h. also in der Regel eine beträchtliche Vergrößerung der Expositionszeit verbunden ist, so daß man daher diesen Weg eben stets erst in zweiter Linie ins Auge fassen wird.

Es kommt nämlich hierbei noch in Betracht, daß die abgeleiteten

Gesetzmäßigkeiten natürlich nur für vollständig ruhig liegende Organe Gültigkeit haben, und daß jede willkürliche oder unwillkürliche Bewegung derselben die Unschärfe um so mehr erhöht, je größer die Exkursionen derselben in der zum Schirm *SS* parallelen Richtung sind. Auch aus diesem Grunde wird man also die Expositionszeit nach Möglichkeit abzukürzen suchen und also den Abstand zwischen Röhre und Schirm nicht größer machen als nötig.

Nichtsdestoweniger dürfte es aber doch von Interesse sein, die Formel 3 auch noch auf einige Beispiele anzuwenden, wobei wir den Durchmesser f des Brennfleckes stets gleich 3 mm annehmen. Für $b = 30$ cm und $c = 20$ cm zunächst, Entfernungen, die den Punkten des Körpers K_2 in Fig. 7 entsprechen, wird dann $f' = 3 \cdot \frac{20}{30} = 2$ mm; d. h. jeder Punkt dieses Körpers wird dann im Röntgenbilde durch einen kleinen Kreis von 2 mm Durchmesser dargestellt, was natürlich ein sehr unscharfes Bild ergibt. Für die Punkte des Körpers K_1 dagegen, für die wie früher $c = 5$ cm und $b = 45$ cm angenommen werde, wird die Unschärfe f' für $f = 3$ mm nach Gleichung 3) nur noch $3 \cdot \frac{5}{45} = 0{,}33$ mm, so daß das Bild in diesem Falle also gerade 6 mal so scharf wird wie das von K_2. Rückt der Gegenstand noch näher an die Schicht *SS* heran, so wird die Schärfe seines Bildes natürlich noch entsprechend größer, so daß man umgekehrt auch schon aus der mehr oder weniger großen Schärfe der röntgenographischen Abbildung der verschiedenen Teile eines Bildes auf den kleineren oder größeren Abstand derselben von der bildauffangenden Schicht und somit auch von der der letzteren angelegten Hautoberfläche schließen kann.

Ferner sei hier noch einmal betont, daß alle diese Betrachtungen natürlich nur dann einen Sinn haben, wenn die fraglichen Objektpunkte während der ganzen Dauer der Aufnahme absolut ruhig gelegen haben, und daß daher in der medizinisch-röntgenographischen Praxis die Anwendung geeigneter technischer Mittel zur ruhigen Lagerung eines Organes zum mindesten ebenso wichtig ist wie die Berücksichtigung der oben dargelegten geometrischen Grundlagen der Abbildung. Aus diesem Grunde ist hier auch davon Abstand genommen, die Formel 3 auch noch auf die oben betrachteten Fälle der Herzmessung anzuwenden, denn dabei würde natürlich eine so große theoretische Schärfe des Bildes herauskommen, daß sie praktisch in diesem Falle wohl nur durch eine Momentaufnahme erreicht werden könnte, die aber hier wieder schon des großen Abstandes wegen ausgeschlossen ist.

Schließlich ist hier noch zu bemerken, daß die Größe des Brennfleckes einer Röntgenröhre sich angenähert auch mit Hilfe eines

Instrumentes messen läßt, welches vom Verfasser angegeben und als „Fokometer" bezeichnet wurde (Fortschr. a. d. G. d. R. Bd. 7, S. 119). Dasselbe ist in seiner äußeren Ansicht in Fig. 8 dargestellt und besteht in der Hauptsache aus sechs Metalldrähten von einer Dicke von bzw. 0,05; 0,15; 0,30; 0,50; 0,75 und 1,05 mm, welche in gleichem Abstand voneinander quer über einen, in der Mitte einer Bleischeibe AB von ca. 20 cm Durchmesser angebrachten viereckigen Ausschnitt von 10×21 mm Größe ausgespannt sind. Auf die eine Seite der Scheibe ist ferner ein 10 cm langes Rohr C und auf die andere ein 25 cm langes Rohr D aufgesetzt, in welchem letzteren — 20 cm von den Drähten entfernt — der Bariumplatincyanürschirm SS mit Bleiglasschutz angebracht ist. Setzt man nun das Rohr C unmittelbar auf die Glaswand der zu untersuchenden Röhre auf — zum Schutz der letzteren ist unten an C ein weicher Flanellring befestigt —, so wird man von den in der Mitte der Scheibe AB liegenden Drähten auf dem weit dahinter liegenden Schirm SS eine um so größere Zahl sehen, je schärfer der Brennfleck der Röhre ist, so daß also die Zahl der sichtbaren Drähte direkt als ein Maß der Schärfe der Zeichnung der Röhre gelten kann.

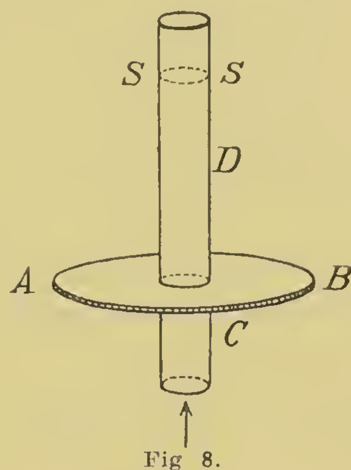


Fig 8.

Zu der Ausbreitung der Röntgenstrahlen zurückkehrend, haben wir nunmehr noch zu berücksichtigen, daß dieselben sich auch nicht, wie bisher angenommen wurde, von der Antikathode der Röhre aus nach allen in Frage kommenden Richtungen hin in vollkommen gleicher Stärke ausbreiten, sondern daß unter Umständen ziemlich beträchtliche Unterschiede in dieser Beziehung bestehen können. Dieselben rühren in der Hauptsache von der ungleichmäßigen Dicke der Glaswand der Röhrenkugel her, insofern eine dickere Stelle derselben die Strahlen eben durch Absorption stärker abschwächt als eine dünnere. Eine kleine Ungleichmäßigkeit von allerdings mehr theoretischem Interesse findet aber in dieser Beziehung auch schon innerhalb der Röhre statt; und zwar ist dieselbe, wie aus Fig. 9 erhellen wird, darauf zurückzuführen, daß das auf die Antikathode $ABCD$ auftreffende Kathodenstrahlenbündel EH nicht schon vollständig an der Oberfläche derselben bei H absorbiert wird, sondern zum Teil auch in das Innere des Metalles, also z. B. bis F, eindringt, und daß nun von den in F entstehenden Röntgenstrahlen diejenigen, welche z. B. in der Richtung FG austreten, im Metall nur die Strecke FI, die nach FH hingehenden dagegen die viel

Unterschiede der Strahlung nach verschiedenen Richtungen hin

längere Strecke FK zurückzulegen haben. Die letzteren werden mithin durch die Absorption im Metall erheblich stärker geschwächt werden als die ersteren, und so wird demnach auch schon in der ursprünglichen, noch innerhalb der Röhre befindlichen Röntgenstrahlung insofern eine Ungleichmäßigkeit bestehen, als der senkrecht zur Antikathodenebene ausfahrende Strahl der stärkste ist und die übrigen um so schwächer sein werden, je mehr sie gegen diesen „Normalstrahl" geneigt sind.

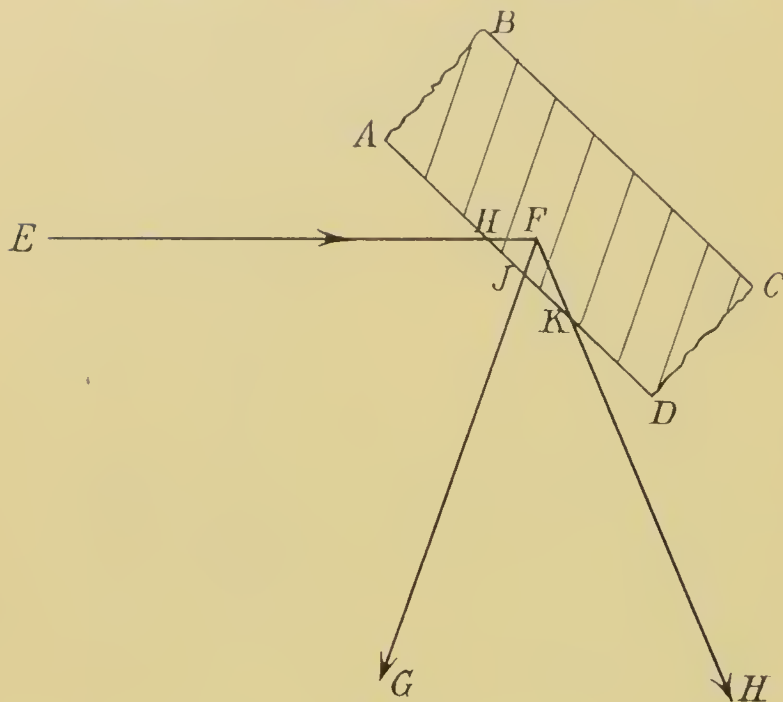


Fig. 9.

Diese Ueberlegung war denn auch wohl der Grund dafür, daß man früher vielfach die Röntgenröhre so zu stellen bemüht war, daß die Mitte des zu durchstrahlenden Körperteiles sich möglichst auf dem auf der Antikathode senkrechten Strahl, d. h. also dem Strahl AN der Röhren der Figg. 2 und 3, befand. Diese Einstellung ist jedoch aus mehreren Gründen zu verwerfen, nämlich 1) weil dabei meist das Kathodenende der Röhre dem Körperteil ziemlich nahe kommt, so daß dann leicht ein elektrischer Funke von ersterem auf letzteren überspringt, 2) weil dann, wie wir oben gesehen haben, die Schärfe der Zeichnung in verschiedenen Richtungen eine verschieden gute wird, und 3) weil außerhalb der Röhre die Intensität der Strahlung gar nicht am stärksten im Normalstrahl AN sondern vielmehr, wie wir weiter unten sehen werden, in der Gegend des Hauptstrahles AH ist, so daß also auch dieser einzige Grund für die Wahl des Strahles AN hinfällig wird.

Zunächst ist nämlich in dieser Hinsicht zu berücksichtigen, daß auch die oben durch Fig. 9 begründeten, schon innerhalb der Röhre stattfindenden Unterschiede der Intensität der Strahlung nach verschiedenen Richtungen hin nur sehr klein sind, da die Kathodenstrahlen, wie schon S. 10 dargelegt wurde, in dem Metall der Antikathode sehr viel stärker absorbiert werden als die Röntgenstrahlen, so daß daher die letzteren auch schon in so einer geringen Tiefe unter der Oberfläche des Metalles entstehen, daß sie von hier aus selbst für ganz schräge Austrittsrichtungen noch nahezu ungeschwächt aus demselben hervortreten. Genauere Berechnungen des Verfassers

haben ergeben, daß bei einer Röhre nach Art der Figg. 2 oder 3, die von A ausgesandten Röntgenstrahlen bis zu einem Austrittswinkel von 50^0 hin — von der Normale AN aus gerechnet — noch innerhalb $1^0/_0$ als konstant angesehen werden können und bis zu einem Austrittswinkel von 70^0, d. h. bis zu den Radien AB und AC, hin, noch innerhalb $4^0/_0$, und daß erst für Austrittswinkel, die größer als 80^0 sind, die Intensität mehr als $10^0/_0$ kleiner wird als die nach AN hin gesandte. Diese „primären" Unterschiede der Strahlung sind demnach so gering, daß sie in der Praxis vollständig vernachlässigt werden können. Immerhin gelten aber die angeführten Ziffern nur für eine Antikathode mit vollkommen ebener Oberfläche; denn wenn die letztere z. B. durch Überlastung der Röhre angeschmolzen und also mit Erhöhungen und Vertiefungen versehen ist, so können dadurch natürlich für die verschiedenen Emissionsrichtungen auch schon innerhalb der Röhre ganz erhebliche Unterschiede bedingt werden.

Absorption in der Glaswand der Röhre

Eine zweite, für die Praxis wichtigere Ungleichmäßigkeit nimmt nun aber die Röntgenstrahlung noch, wie schon oben gesagt wurde, bei ihrem Durchtritt durch die Glaswand der Röhre an, und zwar rührt dieselbe daher, daß diese Wand in der Kugel der Röhre in der Nähe des Kathodenhalses stets erheblich dicker ist als in der Gegend ihres zweiten Hauptschnittes. Diese Tatsache erklärt sich übrigens sehr einfach aus der Fabrikation der Röntgenröhrenkugel, die nämlich stets aus dem Glase desjenigen Rohres geblasen wird, in welchem sich die Kathode befindet und daher nach dieser Seite hin auch stets am dicksten ist. So kommt es dann, daß die Röntgenstrahlung der Röhre außerhalb der Kugel ihre größte Stärke nicht mehr in der auf der Antikathode senkrechten Richtung AN (s. Figg. 2 und 3), sondern vielmehr in der Regel in der Umgebung des Hauptstrahles AH hat; und zwar ist vom Verfasser in den Fortschritten a. d. Geb. d. Röntgenstr. Bd. 11 gezeigt worden, daß die Stärke jener Strahlung in der Richtung AN im Durchschnitt etwa 25—$50^0/_0$ kleiner ist als diejenige in der Richtung des Hauptstrahles AH, bei manchen Röhren aber auch sogar weniger als halb so stark sein kann. Diese Verhältnisse verdienen übrigens nicht bloß wegen der Auswahl des Bezirkes der stärksten Strahlung der Röhre sondern auch noch deswegen Beachtung, weil dadurch auch — besonders in größeren Röntgenbildern — oft starke Unterschiede in der Intensität derselben an verschiedenen Stellen erzeugt werden können, die man dann nicht etwa den betreffenden Körperteilen zuschreiben darf. Zumal beim Vergleich der Durchlässigkeit der beiden Lungen eines Menschen wird man hierauf zu achten haben, da man sonst in diesem Falle zu ganz falschen Schlüssen

über die Durchlässigkeit derselben kommen kann. Man wird deshalb dabei die Röhre stets so stellen, daß ihre Längsrichtung derjenigen des Untersuchten parallel ist; denn dann entsprechen symmetrische Stellen des Körpers auch auf der Glaskugel der Röntgenröhre Stellen, welche gleichweit vom Kathodenhalse entfernt liegen, und welche daher in der Regel auch als annähernd gleich dick angenommen werden können, so daß also dann auch beide Seiten des Körpers eine annähernd gleich starke Strahlung erhalten. Auch bei der Messung der Wirkung der Röntgenstrahlen mit Hilfe sog. Reagenskörper, wie sie bei der therapeutischen Benutzung der Strahlen üblich ist, hat man auf diese Ungleichmäßigkeiten derselben Rücksicht zu nehmen, wie später in Kap. 4 näher ausgeführt werden wird.

Bei der Ausbreitung der Röntgenstrahlen ist nun des weiteren noch zu erwähnen, daß außer der von der Antikathode der Röhre ausgehenden Strahlung, die man ihre „primäre Röntgenstrahlung“ nennt, von den phosphoreszierenden Teilen ihrer Glaswand auch noch eine sekundäre Röntgenstrahlung ausgeht, die wir schon oben kennen gelernt und als die „Glasstrahlung“ der Röhre bezeichnet haben. Dieselbe beträgt bei einer mittelharten Röhre insgesamt zwar nur etwa 15 $^0/_0$ der primären, kann aber doch, wenn dieselbe voll zur Geltung kommt, besonders bei harten Röhren zu eigenartigen Unregelmäßigkeiten im Bilde Veranlassung geben, wie eine solche z. B. vom Verfasser in den Fortschr. a. d. G. d. R. Bd. 4, S. 241 beschrieben und als solche eingehend begründet worden ist. Daß sich die Wirkung derselben bei sehr harten Röhren stärker bemerkbar macht, dürfte hauptsächlich daran liegen, daß in diesem Falle die bildauffangende Schicht von der primären Strahlung wegen des großen Durchdringungsvermögens derselben nur einen sehr kleinen Teil absorbiert, von der Glasstrahlung dagegen, da deren Härte ja etwas geringer ist, einen relativ größeren Teil; indessen liegen darüber genauere Versuche noch nicht vor. Immerhin ist es — zumal bei Anwendung harter Röhren — zu empfehlen, die Glasstrahlung derselben durch eine in der Nähe der Glaswand der Röhre angebrachte Bleiblende, d. h. eine größere, 1—2 mm dicke Bleiplatte mit runder oder viereckiger Öffnung, nach Möglichkeit von der bildauffangenden Schicht abzuhalten.

Abblendung der Glasstrahlen der Röhre

Die Gesichtspunkte, welche bei der Benutzung einer derartigen Blende in Frage kommen, dürften nun am einfachsten aus einigen Zeichnungen erhellen, wie sie in den Figg. 10—13 im Maßstab der in der Praxis zumeist vorkommenden Größenverhältnisse entworfen sind. Der Radius *r* der Röntgenröhre ist dabei stets zu 7,5 cm und der Abstand *a* der Antikathode derselben von der bildauf-

fangenden Schicht SS zu 50 cm angenommen. Der Durchmesser $CD = d$ des auf SS von den primären Röntgenstrahlen der Röhre zu bestreichenden Kreises ist ferner in den Figg. 10 und 11 gleich 40 cm, in 12 und 13 dagegen nur gleich 20 cm gesetzt, während der Abstand c der Blende BB von der Glaswand der Röhre,

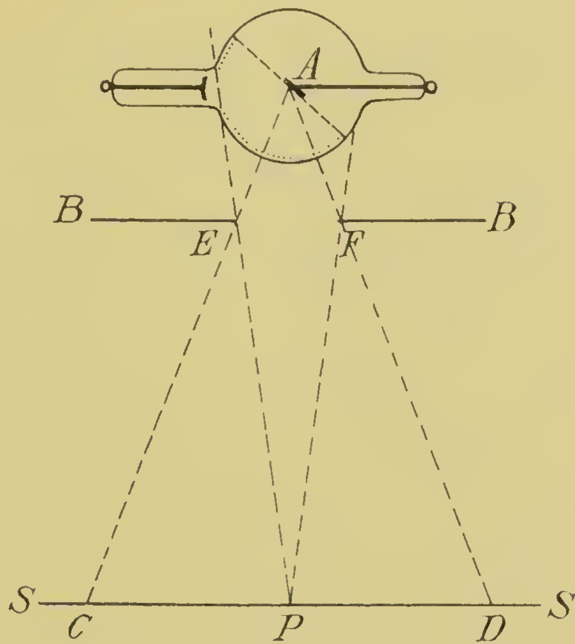


Fig. 10.

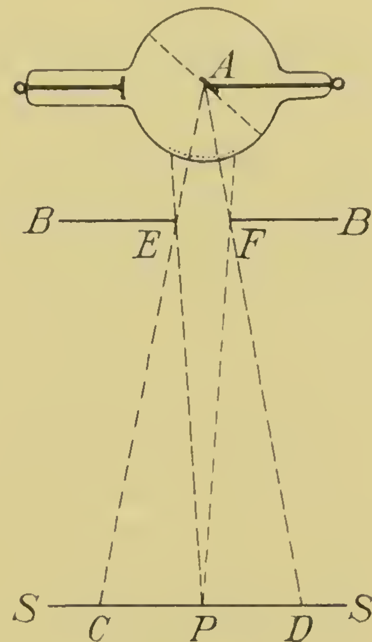


Fig. 12.

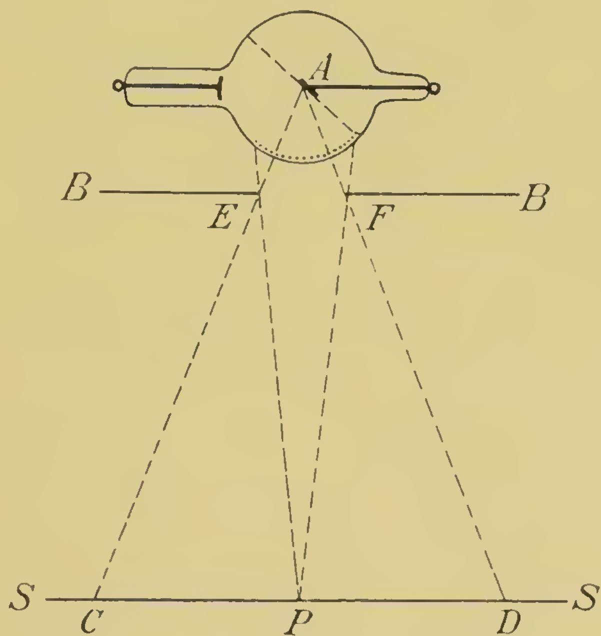


Fig. 11.

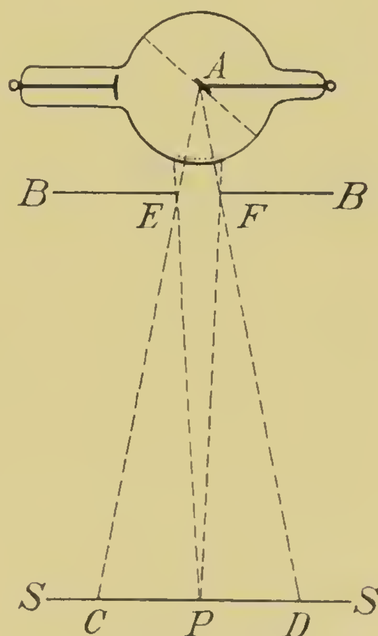


Fig. 13.

auf den es, wie wir sogleich sehen werden, hierbei am meisten ankommt, in den Figg. 10 und 12 einerseits und in 11 und 13 andererseits gleich groß gemacht ist, nämlich in den ersteren beiden gleich 5 cm und in den letzteren gleich 2,5 cm.

Aus diesen Festsetzungen ergibt sich dann zunächst in sehr einfacher Weise die Größe d' des Durchmessers EF, welchen die

Öffnung der Blende BB zum mindesten haben muß, um in jedem Falle den Kreis CD vollständig bestreichen zu lassen. Geometrisch nämlich sind E und F offenbar die Schnittpunkte der Strahlen AC und AD mit der Blendenebene BB und analytisch berechnet sich also $EF = d'$ aus der Formel

$$4) \qquad d' = d\,\frac{r + c}{a}$$

so daß z. B. in den vier Fällen der Figg. 10—13 d' bezw. gleich 10, 8, 5 und 4 cm wird.

Um nun aber ferner den auf irgend einen Punkt P der bildauffangenden Schicht SS wirkenden Teil der Glasstrahlung der Röhre zu erhalten, hat man sich P offenbar, wie es in den Figg. 10—13 für den Mittelpunkt des Kreises CD angedeutet ist, mit sämtlichen Randpunkten der Blendenöffnung EF verbunden und den so entstehenden Kegel bis an die Glaswand der Röhre verlängert zu denken; denn nur diejenigen Teile der phosphoreszierenden Hälfte der Röhrenkugel, welche innerhalb dieses Kegels liegen, können natürlich ihre Strahlen nach P hin senden. In den Figg. 10—13 sind sie durch eine Punktierung angedeutet, die neben der Glaswand der Röhre herläuft. Die Größe dieser Teile läßt sich nun allerdings auch analytisch genau berechnen; indessen ist dazu zu bemerken, daß die Formeln schon in dem einfachsten, in den Figg. 10—13 dargestellten Falle, wo P in der Mitte von CD liegt, sehr kompliziert werden, so daß es daher zweckmäßiger ist, sich die Wirkung der Blende EF einfach an einigen Beispielen geometrisch klar zu machen, wie dies eben durch die genannten Zeichnungen geschehen soll.

Dieselben zeigen nun, daß zur Verkleinerung des auf den Punkt P wirkenden Teiles der Glasstrahlung vor allen Dingen zwei Gesichtspunkte in Frage kommen. Einesteils lehrt nämlich der Vergleich der jeweilig untereinander stehenden Figuren, die sich ja nur durch die verschiedene Stellung der Blendenebene BB zur Glaswand unterscheiden, daß der genannte Zweck durch Annäherung der Blendenebene BB an die Glaswand der Röhre erreicht wird; und andernteils sieht man durch Vergleich der beiden nebeneinander stehenden Figuren, deren Unterschied ja nur in der Größe der bestrahlten Fläche CD besteht, daß zweitens auch die Verkleinerung des Durchmessers CD zu dem gewünschten Ziele führt, die ihrerseits natürlich durch eine entsprechende Verkleinerung des Durchmessers EF der Blende erreicht wird.

Natürlich ist eine solche Verkleinerung des Durchmessers CD nicht in allen Fällen durchzuführen, z. B. dann nicht, wenn es sich um eine Übersichtsaufnahme der ganzen Brust handelt; sobald

es aber auf die möglichst scharfe Abbildung eines bestimmten Teiles eines stärkeren Organes ankommt, soll man den Durchmesser *CD* des von dem Primärstrahlenbündel der Röhre auf *SS* bestrichenen Kreises höchstens gleich 20 cm nehmen, zumal in diesem Falle, wie wir sogleich sehen werden, noch eine zweite Sekundärstrahlung in Rücksicht zu ziehen ist, deren schädliche Wirkung für die Güte des Bildes dann sogar noch erheblich größer ist als die der in Rede stehenden Glasstrahlung, und die auch nur auf diese Weise verkleinert werden kann.

Ehe wir indessen auf diese zweite Sekundärstrahlung eingehen, möge in bezug auf die Glasstrahlung noch erwähnt werden, daß für solche Punkte *P* der Schicht *SS*, welche von dem Mittelpunkte des Kreises *CD* weit entfernt liegen, natürlich ganz andere Teile der Glasstrahlung der Röhre in Betracht kommen, als sie in den Figg. 10—13 gezeichnet sind, daß aber auch diese Unterschiede ebenfalls durch die beiden soeben dargelegten Maßregeln, d. h. also die Annäherung der Blendenebene *BB* an die Röhrenwand und die Verkleinerung des Bilddurchmessers *CD*, mehr und mehr zum Verschwinden gebracht werden, so daß man also auch aus diesem Grunde die Abblendung der Glasstrahlung zumal dann vornehmen wird, wenn es sich um die möglichst scharfe Abbildung eines wenig ausgedehnten Organes oder eines kleineren Abschnittes eines größeren handelt.

Abblendung der Körperstrahlung

Kommen wir sodann zu der zweiten, bereits angedeuteten Sekundärstrahlung, welche ebenfalls durch die Verkleinerung des Bilddurchmessers *CD* — und zwar nur auf diesem Wege — bekämpft werden kann, so handelt es sich hier um eine Strahlung, welche von den primären Röntgenstrahlen in dem zu durchstrahlenden Körperteil selbst erzeugt wird, und welche daher zum Unterschied von der oben betrachteten Glasstrahlung der Röhre die „Körperstrahlung" genannt wird. Das Durchdringungsvermögen derselben für die in Frage kommenden organischen Substanzen scheint ungefähr ebenso groß, ja vielleicht sogar größer zu sein als das der sie erzeugenden primären Strahlung[1]), so daß deswegen jene Strahlung ebenso wie diese durch die ganze Tiefe des durchstrahlten Objektes hindurch auf die bildauffangende Schicht wirken und daher das primäre Bild um so mehr verschleiern wird, je größer die Zahl der von der primären Strahlung getroffenen Teilchen des Organes ist. Wenn nun das

[1]) Mit der in Kap. 3 zu besprechenden Benoistschen Härteskala gemessen, erscheint die Härte der Körperstrahlung organischer Stoffe sogar viel größer als die der sie erzeugenden primären Strahlung, indessen sind in diesem Falle die Angaben dieser Skala nicht mehr maßgebend.

letztere vollständig frei auf der bildauffangenden Schicht liegt, so wird diese getroffene Zahl der Teilchen offenbar um so größer sein, je dicker einesteils und je ausgedehnter anderenteils das Organ ist; und hieraus erklärt es sich denn auch größtenteils, daß die gute Abbildung eines stärkeren und ausgedehnteren Körperteiles so sehr viel schwieriger ist als die eines dünneren. (Genaueres s. weiter unten S. 45 ff.)

Nun läßt sich freilich die Dicke des letzteren nur in besonderen Fällen verkleinern — und diesem Zwecke dient, wie ja schon der Name sagt, die Kompressionsblende von Albers-Schönberg in erster Linie —, der Verkleinerung der Ausdehnung des bestrahlten Organes dagegen steht — in physischer Hinsicht wenigstens — im allgemeinen nichts im Wege; und von diesem Hilfsmittel wird man daher auch bei der hier in Rede stehenden Durchleuchtung stärkerer Körperteile stets soweit als möglich Gebrauch machen — und zwar nicht bloß bei röntgenographischen Aufnahmen sondern auch bei Beobachtungen auf dem Leuchtschirm.

Natürlich kann aber eine solche Verkleinerung der sekundären Körperstrahlung nur durch eine zwischen Röntgenröhre und Körperteil angebrachte Blende geschehen. Die Fig. 14, in der die Wirkung einer solchen dargestellt ist, zeigt aber zugleich auch, daß es in dieser Hinsicht vollkommen gleichgültig ist, ob dies durch eine Blende *BB* in der Nähe der Glaswand der Röhre oder durch eine solche *B' B'* in der Nähe des Körperteiles selbst geschieht; vorausgesetzt nur, daß die Öffnung *EF* der ersteren entsprechend enger gemacht wird. Denn der von der Primärstrahlung getroffene Teil des Körpers, der in der Fig. 14 schraffiert gezeichnet ist, ist offenbar in beiden Fällen gleich groß. Mit Rücksicht auf die Glasstrahlung der Röhre freilich wird man nun aber doch der Stellung *BB* den Vorzug geben, denn nur durch eine solche, in unmittelbarer Nähe der Glaswand der Röhre aufgestellte Blende ist es, wie wir oben gesehen haben, möglich, auch diese Sekundärstrahlung in größerem Maße unschädlich zu machen. Bei einer Zylinderblende ferner, wie sie z. B. Albers-Schönberg bei seiner Kompressionsblende verwendet, und wie man sie sich in Fig. 14 einfach dadurch kon-

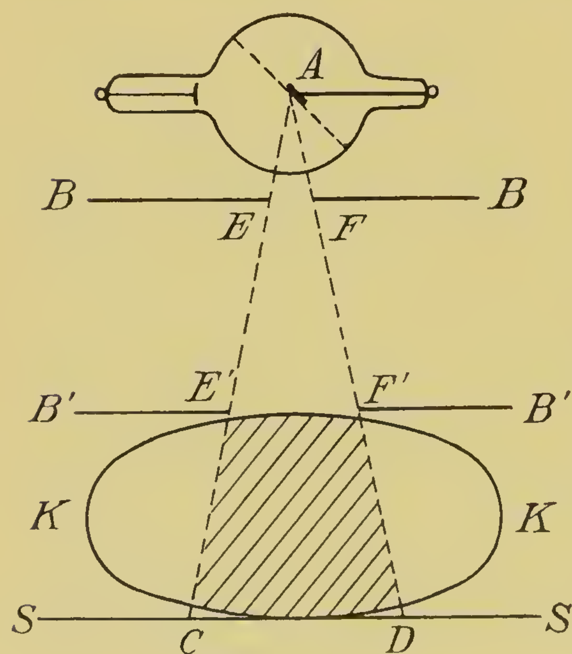


Fig. 14.

struieren kann, daß man sich senkrecht zwischen *BB* und *B' B'* zwei entsprechende Grade zeichnet, muß man ferner noch berücksichtigen, daß die Abblendung in *BB* auch noch deswegen von Vorteil ist, weil sonst die Primärstrahlen die Seitenwände des Zylinders treffen und in dieser eine dritte Sekundärstrahlung hervorrufen würden, die ebenfalls zur Verschlechterung des Bildes beitragen kann. Man wird daher den unteren Teil der Kompressionsblende nur zum Komprimieren, d. h. zur möglichsten Verringerung der Dicke des zu durchleuchtenden Organes sowie natürlich zugleich auch zum Festhalten desselben benutzen — eine Aufgabe, die ja ebenfalls von ganz besonderer Wichtigkeit ist —, während die eigentliche Abblendung an dem oberen Ende des Blendenzylinders vorzunehmen ist, das dann zugleich der Glaswand der Röhre möglichst nahe gebracht werden soll. Diese letztere Regel gilt ferner natürlich auch für solche Fälle, wo sich die Röntgenröhre in einer vollständig abgeschlossenen Bleikiste befindet, denn auch hier wird man die Glasstrahlung der Röhre um so mehr beseitigen, je näher man die Glaswand der letzteren an die Blendenöffnung der Kiste heranbringt. Es findet dann allerdings — zumal bei harten Röhren — ein ziemlich bedeutender Funkenübergang zwischen Röhrenwand und Blende statt, der aber für die erstere unschädlich ist und auch für den Untersucher und Patienten dadurch unschädlich gemacht wird, daß man die Blende durch einen Metalldraht mit dem Gestell der Bleikiste und dieses wieder ebenso mit der Wasser- oder Gasleitung verbindet, d. h. also beide an Erde legt.

Sekundärstrahlung des Aufnahmetisches

Im Anschluß an diese Betrachtungen über Sekundärstrahlungen sei schließlich noch erwähnt, daß stets ein großer Teil der primären Strahlung der Röhre durch die bildauffangende Schicht und bei röntgenographischen Aufnahmen auch noch durch die Glasplatte, welche dieselbe ja meistenteils trägt, hindurchgeht, so daß deshalb auch in allen dahinter liegenden Stoffen eine kräftige Sekundärstrahlung erzeugt wird, die, zumal wenn die Platte auf einer dickeren Holzplatte (Tischplatte) liegt, wieder nach rückwärts hin durch das Glas der Platte auf die Schicht wirken und also das primäre Bild verschleiern kann. Dies ist besonders dann der Fall, wenn es sich um die Durchdringung eines stärkeren Körperteiles handelt, weil nämlich dazu einesteils schon an und für sich eine sehr durchdringungsfähige Röntgenstrahlung nötig ist, und weil dieselbe dann außerdem noch in dem Körperteil selbst, wie wir später sehen werden, ein noch erheblich größeres Durchdringungsvermögen annimmt, so daß schließlich, da die Sekundärstrahlung des Holzes annähernd dieselbe Penetrationskraft hat wie die sie erzeugende Primärstrahlung, die erstere mit Leichtigkeit wieder rückwärts durch das Glas

der photographischen Platte zu der empfindlichen Schicht derselben hingelangt und so das eigentliche Bild verschleiert. Demgegenüber ist nun das Durchdringungsvermögen der Sekundärstrahlen der Stoffe mit hohem Atomgewicht, wie z. B. des Bleies, viel geringer, so daß man daher aus diesem Grunde in der Praxis unter die photographische Platte stets noch eine zum mindesten $^1/_2$ mm dicke Bleiplatte legen soll, die bei Anwendung einer besonderen Plattenkassette natürlich gleich innen auf den Deckel derselben aufgenagelt wird, so daß sie bei der Aufnahme unmittelbar unter dem Glas der photographischen Platte zu liegen kommt.

Absorption der Röntgenstrahlen

Gehen wir aber nunmehr zu den eigentlichen Eigenschaften der Röntgenstrahlen über, so kommt nun für uns hiervon vor allen Dingen das Verhalten derselben bei der Absorption in den verschiedenen Stoffen in Betracht. Die große Wichtigkeit dieser Unterschiede für uns leuchtet am besten ein, wenn wir berücksichtigen, daß die sämtlichen Einzelheiten eines Röntgenbildes lediglich dadurch zustande kommen, daß das zur Abbildung benutzte Strahlenbündel eben in den verschiedenen Teilen des abzubildenden Körpers verschieden stark absorbiert wird.

Das Verhalten der Röntgenstrahlen bei der Absorption ist nun von demjenigen der Lichtstrahlen fundamental verschieden; und tatsächlich beruhte ja auch das große Aufsehen, welches die Entdeckung unserer Strahlen selbst bei der Laienwelt machte, zum größten Teile gerade auf diesen Unterschieden: Strahlen, welche durch Holz, Pappe und menschliche Weichteile leichter hindurchdrangen als durch Glas, Strahlen, die nicht bloß in das Innere des lebenden Menschen sondern sogar in das der Metalle hineinzusehen erlaubten, solche Strahlen mußten allerdings auf die an die Eigenschaften des Lichtes gewöhnte Menschheit einen gewaltigen Eindruck machen.

Was nun aber die Gesetzmäßigkeiten anbetrifft, nach denen sich die Absorption der Röntgenstrahlen vollzicht, so hat man in dieser Hinsicht, soweit die Natur des von ihnen zu durchdringenden Stoffes in Frage kommt, im wesentlichen zwei Gesichtspunkte in Rücksicht zu ziehen: einesteils nämlich das Atomgewicht der chemischen Elemente, aus welchen der Stoff zusammengesetzt ist, und andernteils die physikalische Dichte oder das spezifische Gewicht des letzteren selbst.

Absorption in einfachen Stoffen

Daß hier in erster Linie nicht, wie man anfangs glaubte, diese Dichte, sondern vielmehr jene Atomgewichte in Frage kommt, sieht man am besten, wenn man direkt die Absorption geeigneter chemischer Elemente, z. B. die des Aluminiums (*Al*) und die des Kalziums (*Ca*), miteinander vergleicht, die jetzt beide in metallischer Form im Handel zu haben sind. Die spezifischen Gewichte der-

selben sind bzw. 2,7 und 1,57, so daß also das erstere fast doppelt so dicht ist als das letztere; nichtsdestoweniger absorbierte nun aber nach Versuchen des Verfassers eine Schicht *Ca* von 6,5 mm Dicke eine Röntgenstrahlung von bestimmter Härte ebenso stark wie eine *Al*-Schicht von 12,5 mm Dicke, so daß demnach hier nicht das spezifisch schwerere sondern das leichtere Metall das weitaus stärker absorbierende ist. Der Grund dieser Erscheinung liegt eben darin, daß das Atomgewicht des *Ca* (40) erheblich höher ist als das des *Al* (27), oder daß mit andern Worten das einzelne Kalziumatom erheblich stärker absorbiert als das einzelne Aluminiumatom.

Übrigens läßt sich aus den angegebenen Zahlenwerten auch direkt das Verhältnis der Absorption der beiden in Rede stehenden Atomarten ausrechnen. Zu diesem Zwecke nehmen wir z. B. an, daß in einem *Al*-Würfel von 1 cm Kantenlänge, der ja, da das spezifische Gewicht des *Al* 2,7 ist, 2,7 g wiegt, n Atome enthalten sind. Dann wiegt also ein *Al*-Atom $\frac{2,7}{n}$ g, ein Wasserstoffatom also $\frac{1}{27}$ davon, d. h. $\frac{1}{10\,n}$ g; denn das Atomgewicht des *Al* ist ja 27 mal so groß als das des Wasserstoffs. Ein *Ca*-Atom wiegt also $40 \,.\, \frac{1}{10\,n} = \frac{4}{n}$ g. Von den beiden, bei dem obigen Versuche benutzten Metallschichten wiegt ferner, wenn wir stets eine Fläche von 1 qcm in Rechnung ziehen, die 1,25 cm Dicke *Al*-Schicht $1,25 \,.\, 2,7$ g und enthält also $1,25 \,.\, 2,7 : \frac{2,7}{n} = 1,25 \,.\, n$ Atome; die 0,65 cm dicke *Ca*-Schicht dagegen wiegt $0,65 \,.\, 1,57$ g (1,57 ist das spez. Gew. des *Ca*), und enthält demnach $0,65 \,.\, 1,57 : \frac{4}{n} = 0,255\,n$ Atome, so daß mithin die Zahl der Atome in der *Al*-Schicht $\frac{1,25\,n}{0,255\,n} = 4,9$ mal so groß ist wie in der *Ca*-Schicht und also schließlich aus dem Versuche folgt, daß ein einzelnes *Ca*-Atom 4,9 mal so stark absorbiert wie ein einzelnes *Al*-Atom.

Allgemein kann man sagen: wenn von zwei Metallen I und II, deren Atomgewichte bezw. a_1 und a_2 und deren spezifische Gewichte s_1 und s_2 sind, zwei Schichten von der Dicke d_1 und d_2 gleich durchlässig für eine bestimmte Art von Röntgenstrahlen sind, so absorbiert ein Atom von II diese Strahlen $\frac{s_1\, d_1\, a_2}{s_2\, d_2\, a_1}$ mal so stark wie ein Atom von II. Allerdings werden wir später sehen, daß sich der numerische Wert dieses Verhältnisses nicht bloß mit der Härte der benutzten Röntgenstrahlen, sondern auch sogar mit der Dicke der benutzten Schichten ändert, so daß also die ermittelten Beziehungen genau genommen immer nur für die gerade benutzten

Schichtdicken gelten, nicht aber für einzelne Atome, wie es hier des einfacheren Ausdruckes wegen angegeben wird.

Als zweites Beispiel möge weiter noch angeführt werden, daß eine 1 mm dicke Schicht metallischen Kaliums die in Rede stehende harte Röntgenstrahlung ebenso stark absorbiert, wie eine 4 mm dicke Schicht ebensolchen Natriums, trotzdem auch hier wieder das spezifische Gewicht des letzteren Elementes (0,97) größer ist, als das des ersteren (0,86). Die stärkere Absorption des Kaliums ist also ebenfalls wieder nur auf sein höheres Atomgewicht — 39 gegen 23 — zurückzuführen; und zwar ergibt sich aus dem obigen Versuche genauer, daß das Kaliumatom sogar 7,6 mal so stark absorbiert wie das Natriumatom. Zugleich erhellt hieraus noch, daß die Absorption der Röntgenstrahlen in zwei chemischen Elementen durch das chemische Verhalten derselben in keiner Weise beeinflußt zu sein scheint; denn die beiden zuletzt genannten Grundstoffe ordnen sich trotz ihrer großen chemischen Ähnlichkeit in dieser Beziehung ebenso wie alle andern Elemente einfach in die durch das Atomgewicht bedingte Reihe ein.

Auch der metallische oder nicht metallische Charakter eines Elementes, d. h. also das verschiedene physikalische Verhalten desselben bei der Absorption des gewöhnlichen Lichtes macht für die der Röntgenstrahlen keinen Unterschied, denn die Atome des nicht metallischen Schwefels z. B. absorbieren ungefähr doppelt so stark wie des metallischen Aluminiums, eine Tatsache, die eben wieder lediglich dem höheren Atomgewichte des ersteren Elementes (32) zuzuschreiben ist. Denn das spezifische Gewicht desselben (2,0) ist sogar wieder erheblich kleiner als das des Aluminiums (2,7).

Von besonderem Interesse ist ferner von den chemischen Elementen mit niedrigem Atomgewicht, die ja bisher lediglich berücksichtigt wurden, noch der Kohlenstoff — einesteils nämlich, weil derselbe den Hauptbestandteil aller organischen Verbindungen darstellt, und anderenteils auch, weil gerade er von den für uns in Frage kommenden Elementen — außer Wasserstoff — das niedrigste Atomgewicht (12) hat. Demgemäß ist denn auch die absorbierende Kraft des Kohlenstoffatoms nur etwa $^1/_{15}$ von der des Aluminium-, $^1/_{29}$ von der Schwefel- und $^1/_{74}$ von der des Kalziumatoms; und dieser so außerordentlich große Unterschied in dem Verhalten des Kohlenstoffatoms im Vergleich mit den meisten andern für gewöhnlich in fester Form auftretenden Elementen ist es denn auch, worauf hauptsächlich die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin sowohl wie auch auf mehreren anderen Gebieten beruht.

Richten wir sodann unsern Blick noch auf die Elemente mit höherem Atomgewicht, von denen besonders die sog. schweren

Metalle in Frage kommen, so steigt auch hier — zumal bei Anwendung harter Röntgenstrahlen — die absorbierende Kraft des Atomes mit der Größe des Atomgewichtes unaufhörlich weiter, so daß z. B. die Atome des Kupfers, Silbers, Platins und Bleies, deren Atomgewichte bezw. 63, 108, 194 und 206 sind, die oben benutzte harte Röntgenstrahlung bezw. etwa 400, 800, 2500 und 3300 mal so stark absorbieren wie das Kohlenstoffatom.

Die Atome des Bleies (*Pb*) halten mithin die Röntgenstrahlen noch wieder erheblich stärker zurück, als diejenigen des Platins (*Pt*), wie es ihnen ja auch ihres höheren Atomgewichtes wegen zukommt. Bezieht man sich dagegen auf gleich dicke Schichten, wie es ja in der Praxis in der Regel der Fall ist, so absorbiert von den beiden genannten Metallen allerdings umgekehrt das *Pt* stärker als das *Pb*; denn eine 0,20 mm dicke *Pt*-Schicht z. B. schwächt jene harte Röntgenstrahlung ebenso stark, wie eine 0,31 mm dicke *Pb*-Schicht. Indessen erklärt sich dieser scheinbare Widerspruch sehr einfach aus dem erheblich größeren spezifischen Gewichte des Platins — 21,5 gegenüber 11,3 — so daß man also auch sagen kann, daß von zwei gleich dicken Schichten der genannten Elemente allerdings diejenige des *Pt* die stärker absorbierende ist, aber nur deshalb, weil in diesem Metall die Atome sehr viel dichter zusammengedrängt sind als im *Pb*; ein einzelnes *Pb*-Atom dagegen absorbiert die Röntgenstrahlen stärker als ein einzelnes *Pt*-Atom, wie es ja auch nach der Größe der Atomgewichte zu erwarten ist.

Immerhin geht aber aus diesem Beispiele hervor, daß die Absorption der Röntgenstrahlen in den wirklichen, in der Natur vorkommenden Stoffen — außer von dem Atomgewicht ihrer chemischen Bestandteile — auch noch von der Dichtigkeit der Lagerung derselben, oder mit andern Worten von der physikalischen Dichte oder dem spezifischen Gewichte der Stoffe abhängt, wie auch bereits oben angeführt wurde. Ein sehr lehrreiches Beispiel bieten in dieser Hinsicht zunächst diejenigen chemischen Elemente, welche in sog. allotropen Modifikationen vorkommen und von ihnen wieder besonders der Kohlenstoff, da nämlich dieser sich sogar in drei, physikalisch außerordentlich verschiedenen Formen: der gewöhnlichen Kohle, dem Graphit und dem Diamant vorfindet. Während nun das gewöhnliche Licht von diesen drei Formen, wie ja der bloße Augenschein lehrt, sehr verschieden verschluckt wird, werden die Röntgenstrahlen hier einfach nach Maßgabe der physikalischen Dichte dieser Stoffe absorbiert, denn die Dicke der für Röntgenstrahlen gleich durchlässigen Schichten verhält sich hier einfach umgekehrt wie das spezifische Gewicht der Stoffe. Die Größe der Absorption ist also in diesem

Falle lediglich durch die Zahl der in der Raumeinheit befindlichen Atome bedingt; jedes einzelne Kohlenstoffatom dagegen absorbiert in allen drei Fällen gleich stark.

Noch viel deutlicher tritt natürlich dieser Einfluß der Raumerfüllung oder des spezifischen Gewichtes hervor, wenn wir die gasförmigen Stoffe mit den festen oder flüssigen vergleichen. So absorbiert z. B. die atmosphärische Luft in ihrem gewöhnlichen Zustande die Röntgenstrahlen sehr viel schwächer als ein Stück Kohle von gleicher Dicke, trotzdem die Hauptbestandteile der ersteren, der Stickstoff und der Sauerstoff, beide ein höheres Atomgewicht haben als der Kohlenstoff. Die Berechnung ergibt nämlich, daß in einem bestimmten Volumen gewöhnlicher Kohle (spez. Gew. 1,5) etwa 1400 mal so viel Atome enthalten sind als in dem gleichen Volumen Luft, so daß mithin die größere Absorption des festen Körpers ohne weiteres verständlich ist. Aehnlich aber wie die Kohle verhalten sich in dieser Beziehung auch z. B. das Wasser sowie ferner auch die menschlichen Weichteile, die ja übrigens auch zum grössten Teile aus Wasser bestehen; und so heben sich denn auch z. B. die lufthaltigen Lungenräume des Menschen eben wegen ihrer schwächeren Absorption stets sehr deutlich von den umgebenden Weichteilen ab.

Nichtsdestoweniger läßt sich aber doch auch z. B. die Absorption der Röntgenstrahlen in der Luft leicht nachweisen; und zwar zunächst durch die ziemlich sekundäre Röntgenstrahlung, welche sie darin erzeugen, wie schon von Röntgen selbst angegeben wurde. Neuerdings ist aber diese Absorption auch quantitativ von Zuppinger (s. Fortschr. a. d. G. d. R., Bd. 11, p. 372) bestimmt worden; und es ergibt sich aus dessen Versuchen beispielsweise, daß durch eine Luftschicht von 50 cm Dicke von einer mittelharten Röntgenstrahlung etwa 5 % zurückgehalten wird. Auch spätere Versuche des Verfassers führen zu ähnlichen Zahlenwerten.

Fassen wir nun noch einmal die Gesetzmäßigkeiten, welche für die Absorption der Röntgenstrahlen in den chemischen Elementen in erster Linie in Frage kommen, zusammen, so können wir sagen, daß diese Absorption einesteils mit der Größe des Atomgewichtes des absorbierenden Elementes und andernteils auch mit der Zahl der Atome steigt, welche in der Raumeinheit desselben enthalten sind. Dagegen war ein Einfluß der Gruppierung der Atome im Molekül nicht zu erkennen, wie besonders aus dem Verhalten der verschiedenen Modifikationen des Kohlenstoffes hervorging.

Absorption in zusammengesetzten Stoffen

Diese Einflußlosigkeit des molekularen Aufbaues der Stoffe in der in Rede stehenden Beziehung zeigt sich nun aber noch viel deutlicher, wenn wir nunmehr von der Betrachtung der

chemischen Elemente zu der der chemisch zusammengesetzten Körper übergehen, weil nämlich gerade bei diesen jener Aufbau für die sonstigen physikalischen Eigenschaften der Körper, vor allem den Aggregatzustand, die Kristallform und die Farbe derselben, d. h. die Absorption des Lichtes in ihnen, von der größten Bedeutung ist. Die Röntgenstrahlen dagegen bleiben von allen diesen Unterschieden vollständig unberührt; denn sie kümmern sich, wie die Versuche zeigen, nur um die Art der Atome, welche in dem Körper enthalten sind, nicht aber um die des molekularen Aufbaues derselben.

Ein hervorragendes Beispiel hierfür bildet der Schwefelkohlenstoff, der bekanntlich eine bei gewöhnlicher Temperatur flüssige und farblose chemische Verbindung darstellt, während seine beiden Komponenten, der Schwefel und der Kohlenstoff, unter denselben Umständen fest sind und auch das Licht mehr oder weniger stark absorbieren. Die Röntgenstrahlen dagegen werden von einer bestimmten Schicht der erstgenannten Flüssigkeit genau so stark absorbiert wie von zwei aufeinandergelegten Stücken Schwefel und Kohle, deren Dicken so berechnet sind, daß in ihnen dieselbe Anzahl von Atomen enthalten ist, wie in der in Frage stehenden Flüssigkeitsschicht. In ähnlicher Weise absorbieren auch die Legierungen von Metallen ebenso stark wie die Summe der in ihnen enthaltenen chemischen Elemente. Vor allen Dingen ist aber für den Mediziner in dieser Hinsicht noch von Interesse, daß alle die vielen organischen Verbindungen, in denen keine andern chemischen Elemente als Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff d. h. also nur Elemente mit niedrigem Atomgewicht vorkommen, auch sämtlich nur eine sehr schwache Absorption der Röntgenstrahlen bewirken, obwohl doch die chemischen Moleküle dieser Körper oft eine äußerst verwickelte Zusammensetzung haben. Die Röntgenstrahlen kümmern sich eben auch hier wieder nur um die Zahl der Atome, welche in der Raumeinheit enthalten sind sowie um das Atomgewicht derselben; und beide Größen sind eben bei jenen Stoffen, da auch ihr spezifisches Gewicht stets nur ein verhältnismäßig geringes ist, nur von geringfügigem Betrage.

Führt man jedoch in eine solche organische Verbindung z. B. ein Chlor-, Brom- oder Jod-Atom ein, was ja bei vielen derselben möglich ist, so steigt — dem hohen Atomgewichte dieser drei Elemente (35, 80 und 127) entsprechend — auch die Absorption des Stoffes sofort ganz beträchtlich an, so daß z. B. das Jodoform (CHJ_3) mit seinen drei Jod-Atomen stärker absorbiert als sehr viele Metalle, was bei der Durchleuchtung von Körperteilen, in welche dieser Stoff eingeführt ist, natürlich wohl zu berücksichtigen ist.

Aus denselben Gründen absorbieren auch die anorganischen Verbindungen die Röntgenstrahlen in der Regel viel stärker als die organischen; denn jene enthalten eben in den meisten Fällen in ihrem Molekül eines oder mehrere Elemente mit hohem Atomgewicht, vor allem nämlich eines der Metalle, dann häufig auch Chlor, Brom oder Jod, andere wieder Schwefel oder Phosphor usw. Ein äußerst wichtiges Beispiel hierfür bieten uns die im Organismus befindlichen Knochen, die sich nämlich von den umgebenden Weichteilen im Röntgenbilde zwar z. T. auch wegen ihres größeren spezifischen Gewichtes, vor allem aber wegen ihres Gehaltes an Calcium und Phosphor abheben; und zwar kommt hier besonders das erstere in Frage, da nicht bloß ein Atomgewicht (40) höher ist als das des andern (31), sondern auch der Gehalt der Knochenerde an *Ca* etwa 38 % und der an *P* nur etwa 18 % beträgt.

Aus allen diesen Darlegungen geht nun hervor, daß die Absorption der Röntgenstrahlen sowohl in den chemisch einfachen als auch in den zusammengesetzten Stoffen in letzter Hinsicht lediglich durch das Atomgewicht der in Frage kommenden Atome sowie durch die Dichtigkeit der Lagerung derselben bedingt ist. Berücksichtigt man nun aber, daß auch sehr viele andere Tatsachen — und zwar vor allem die zahlenmäßigen Beziehungen, welche zwischen der Größe der Atomgewichte der sich chemisch ähnlich verhaltenden Elemente stattfinden — darauf hinweisen, daß die chemischen Atome noch wieder aus einer mehr oder weniger großen Zahl eines oder mehrerer „Uratome" zusammengesetzt zu sein scheinen, so wird man nach den obigen Darlegungen zu dem Schlusse kommen, daß auch das Verhalten der Röntgenstrahlen bei der Absorption durchaus für diese Auffassung spricht. Der sich hierbei zeigende stärkere Einfluß des höheren Atomgewichtes wäre nämlich dann offenbar lediglich der größeren Zahl der dabei in Frage kommenden Uratome zuzuschreiben, und wir hätten also schließlich das einfache Resultat, daß die Absorption der Röntgenstrahlen in einer bestimmten Schicht eines Stoffes lediglich durch die Zahl der darin enthaltenen Uratome bedingt ist.

Im übrigen möge hier nur noch auf die eigentümliche Erscheinung hingewiesen werden, daß bei den elektrisch nicht geladenen Röntgenstrahlen die Absorption so außerordentlich stark von dem Atomgewichte, bei den elektrisch geladenen Kathodenstrahlen dagegen nur von der physikalischen Dichte und also nicht vom Atomgewichte abhängt. Möglicherweise ist dieser Unterschied so zu deuten, daß das elektrisch geladene Kathodenstrahlenteilchen — eben wegen seiner elektrischen Ladung — von den elektrischen Ladungen des Atomes so stark abgestoßen wird, daß es überhaupt

nicht in das Innere des letzteren eindringt, während bei den Röntgenstrahlen eine solche abstoßende Kraft nicht vorhanden ist.

Kehren wir indessen zu den Tatsachen zurück, so läßt sich nun die Absorption der Röntgenstrahlen in einem bestimmten Stoff allerdings auch zahlenmäßig ausdrücken; und es liegen auch in dieser Hinsicht schon von vielen Beobachtern mehr oder weniger eingehende Angaben vor. Indessen ist hierzu zu bemerken, daß dieselben meistenteils kein allgemeineres Interesse beanspruchen können, da nämlich die Größe des von einer bestimmten Schicht eines Körpers durchgelassenen Bruchteiles der auffallenden Röntgenstrahlung nicht bloß von dem Durchdringungsvermögen der letzteren, d. h. also der Härte der angewandten Röhre, abhängt, sondern sich auch für jede Röhrenhärte noch wieder in dem zu durchdringenden Körper selbst von Schicht zu Schicht desselben ändert; zwei Gesichtspunkte, die übrigens schon von Röntgen in seiner dritten Mitteilung eingehend erörtert wurden.

Messung der Absorption der Röntgenstrahlen

Was zunächst den ersten derselben, also die Abhängigkeit des Durchdringungsvermögens der Röntgenstrahlen von der Härte der Röhre anbetrifft, so sei von den diesbezüglichen Röntgenschen Messungen nur angeführt, daß eine 2 mm dicke *Al* Platte von der Strahlung einer sehr weichen Röhre nur 0,44 $^0/_0$, von der einer harten aber 59 $^0/_0$, d. h. also über 100 mal soviel, hindurchließ. Ein anderes Beispiel dieser Art bietet die später zu beschreibende Härteskala des Verfassers, die aus 8 Platinfeldern besteht, von denen das erste nur 0,005 mm und das letzte 0,64 mm, d. h. also ebenfalls etwas über 100 mal so dick ist als jenes, und bei der man wieder bei Anwendung einer sehr weichen Röhre auf dem dahinter angebrachten Bariumplatinzyanürschirm nur das erste, mit einer sehr harten dagegen alle acht Felder leuchten sieht. In der medizinischen Praxis kann man jene ganz weichen Röhren natürlich nur dann gebrauchen, wenn es sich entweder um sehr dünne Präparate, wie z. B. Knochenschliffe, oder auch um sehr leicht durchdringungsfähige Körperteile, wie Kinderhände, handelt; und dann sind allerdings die Kontraste in den betreffenden Röntgenbildern — zumal auch in den Weichteilen der letzteren Organe — ganz erheblich viel größer als bei Benutzung einer härteren Strahlung. Andererseits ist die letztere aber wieder unumgänglich notwendig, wenn dickere Körperteile zu durchdringen oder auch, wenn in den Knochen der dünneren Teile feinere Verletzungen nachzuweisen sind, die eine vollständige Durchdringung dieser Knochen erfordern.

Was sodann die zweite der oben erwähnten Tatsachen anbetrifft, welche der zahlenmäßigen Bestimmung der Absorption der Röntgenstrahlen erschwerend im Wege stehen, so besteht dieselbe darin,

daß diese Strahlen beim Durchgang durch einen bestimmten Stoff ein immer größeres Durchdringungsvermögen annehmen, eine Tatsache, die man nach ihrem Entdecker als das Röntgensche Absorptionsgesetz bezeichnet. Die Erklärung derselben suchte Röntgen darin, daß die ursprüngliche von der Röhre ausgehende Strahlung aus einem Gemisch von Strahlen verschiedenen Durchdringungsvermögens besteht; und tatsächlich wird ja auch ein derartiges Strahlengemisch bei der Durchdringung irgend eines Stoffes stets eine Siebung in der Weise erfahren, daß dabei der weniger durchdringungsfähige Teil der Strahlung immer relativ am meisten abgeschwächt wird, so daß mithin eine Strahlung von größerem Durchdringungsvermögen übrig bleibt, wie es das Röntgensche Absorptionsgesetz verlangt.

Wie dem auch sei, schon aus dem tatsächlichen Bestehen dieses Gesetzes ergibt sich, daß sich auch für die Strahlung einer Röhre von ganz bestimmter Härte mit Bezug auf irgend einen Stoff kein allgemein gültiger Absorptionskoeffizient α angeben läßt, wie er z. B. in der Optik für einen Lichtstrahl bestimmter Wellenlänge mit Bezug auf irgend eine Farbstofflösung durch eine einfache Absorptionsmessung erhalten werden kann, und mit Hilfe dessen man dann für jede beliebige Schichtdicke d der Lösung die davon hindurchgelassene Intensität J jener Wellenlänge aus der auffallenden Intensität J_0 nach der Formel

5) $$J = J_0 \cdot e^{-\alpha d}$$

berechnen kann, wo e die Basis des natürlichen Logarithmensystems bedeutet. Voraussetzung ist dabei nämlich, daß α für jede beliebige Schichtdicke der Lösung eine Konstante ist, was in dem erwähnten optischen Beispiele auch wirklich der Fall ist, bei Röntgenstrahlen dagegen — eben wegen des Röntgenschen Absorptionsgesetzes — nicht mehr zutrifft. Denn wenn z. B. nach den Versuchen von Röntgen von der Strahlung einer bestimmten Röhre durch eine 1 mm dicke Al-Platte 40% und von der durch diese Platte hindurchgegangenen Strahlung durch eine zweite ebenso dicke Al-Platte 55% hindurchgelassen wurde, so würde sich auf Grund dieser Angaben nach Formel (5) für die erste Platte $\alpha = 9{,}2$, für die zweite $\alpha = 6{,}0$ und schließlich aus der Durchlässigkeit beider zusammen $\alpha = 7{,}5$ ergeben, wobei die Dicke d in jener Formel, wie es in der Physik gebräuchlich ist, jedesmal in cm ausgedrückt wurde. Man sieht demnach, daß auch für dieselbe Röntgenstrahlung der Absorptionskoeffizient α um so kleiner wird, je größer die Dicke der zur Messung herangezogenen Schichtdicke des Stoffes war, so daß mithin die Angabe der Größe α nur dann einen praktischen Wert hat, wenn dabei — außer der Härte der benutzten Röntgen-

röhre — gleichzeitig auch noch jene Schichtdicke mit aufgeführt wird. Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände kann allerdings diese Größe für gewisse Fälle tatsächlich von Bedeutung werden, zumal wenn man etwas genauere theoretische Betrachtungen über die sich auf Grund der verschiedenen Absorption der Röntgenstrahlen in den verschiedenen Stoffen ergebende Deutlichkeit des Röntgenbildes anstellen will, wie auch wir dies jetzt tun wollen.

Absorptionskoeffizienten

Zu diesem Zwecke seien hier zunächst die Absorptionskoeffizienten einiger für uns hauptsächlich in Frage kommenden Stoffe angeführt. Der wichtigste derselben ist das Wasser, da nämlich die meisten Weichteile des Menschen für Röntgenstrahlen fast dieselbe Absorption zeigen wie dieses, wie ja auch nach ihrer Zusammensetzung begreiflich ist. Für diesen Stoff berechnen sich nun aus den Beobachtungen von Perthes (Fortschr. a. d. G. d. Röntgenstr. Bd. 8, p. 12) für mittelharte Röhren von 7—10,5 cm äquivalenter Funkenlänge (s. Kap. 3) und für eine Schichtdicke von 1, 2, 3 und 4 cm bzw. die Absorptionskoeffizienten 0,540; 0,468; 0,424 und 0,390, so daß man also für eine Schichtdicke von 10 cm und darüber für α etwa einen Wert von 0,30 annehmen kann. — Hinsichtlich der Durchlässigkeit der Knochen sei ferner erwähnt, daß dieselbe nach den Versuchen des Verfassers nur wenig größer als die des Aluminiums ist — ein Knochenstück von 2,9 mm Dicke z. B. absorbierte ebenso stark wie eine 2,3 mm dicke *Al* Schicht — so daß wir daher noch anführen wollen, daß der Absorptionskoeffizient des Aluminiums sich nach den Versuchen von Röntgen für bzw. 1, 2, und 4 mm dicke Schichten dieses Metalles für ziemlich weiche Strahlung bzw. zu 8,0; 6,0 und 5,4 und für eine erheblich härtere bzw. zu 3,9; 3,5 und 2,9 ergibt. Um dieselben Größen für Knochen zu erhalten, würde man demnach diese Zahlen mit dem Verhältnis $\frac{2,3}{2,9} = 0,80$ zu multiplizieren haben. Als dritte Substanz sei noch, um auch einen Vertreter der Schwermetalle zu haben, das Kupfer angeführt, für welches nach Versuchen des Verfassers für ungefähr 0,1 mm dicke Schichten und harte Strahlung α etwa $= 200$ angenommen werden kann.

Deutlichkeit im Röntgenbilde

Was nun aber die allgemeinen theoretischen Betrachtungen über die auf Grund der verschiedenen Absorption der Röntgenstrahlen in den verschiedenen Stoffen zu erwartenden Deutlichkeit einer Röntgenaufnahme angeht, die wir als die „theoretische Deutlichkeit“ desselben bezeichnen wollen, so sehen wir dabei zunächst von der in dem betreffenden Körperteil entstehenden Sekundärstrahlung vollständig ab und ebenso auch von der besonderen Eigentümlichkeit, welche die primäre Strahlung einer

Röntgenröhre nach den obigen Darlegungen stets zeigt, und welche darin besteht, daß diese Strahlung nach dem Durchdringen irgend eines Körpers ein größeres Durchdringungsvermögen besitzt als vorher. (Röntgensches Absorptionsgesetz.) Wir nehmen also mit anderen Worten an, daß wir es mit einer Strahlung zu tun haben, welche für jeden Stoff einen ganz bestimmten Absorptionskoeffizienten α besitzt, der für alle Schichten desselben den gleichen Wert behält und also nicht, wie es ja bei unseren Strahlen in Wirklichkeit der Fall ist, von Schicht zu Schicht immer kleiner wird. Die Absorption der Strahlen in einem Stoff mit dem Absorptionskoeffizienten α vollzieht sich dann wie diejenige eines einfarbigen Lichtstrahles in einer Farbstofflösung, d. h. nach der Gleichung 5, S. 44.

Für uns handelt es sich nun aber fast stets um die Bestimmung der Deutlichkeit, mit welcher ein Körper K' (s. Fig. 15), der von einem anderen K allseitig eingeschlossen ist, von einer solchen Strahlung abgebildet wird. Diese Deutlichkeit wird nun — so weit die primäre Strahlung allein in Betracht kommt — um so größer sein, je größer der Unterschied derjenigen beiden Intensitäten J und J' ist, welche diese Strahlung beim Verlassen von K einesteils hinter K allein und anderenteils hinter dem Körper K' besitzt (s. auch die Fig. 15). Indessen kommt noch ein zweiter Gesichtspunkt hinzu. Die Deutlichkeit des Bildes hängt nämlich nicht bloß von der Größe dieses Unterschiedes, sondern auch noch davon ab, wie groß derselbe im Vergleich zu der Intensität J selbst ist, d. h. sie wird durch die Größe des Quotienten $\frac{J-J'}{J}$ bestimmt. Denn wenn z. B. $J-J' = 1$ und J selbst $= 100$ ist, so ist J' nur um 1% kleiner als J, und der Kontrast zwischen den Wirkungen beider kann daher nur gering sein. Wird dagegen für $J-J' = 1$ der Wert von J selbst z. B. nur $= 10$, so macht die Differenz $J-J'$ schon 10% von J aus, und die Deutlichkeit der Abbildung wird dann offenbar 10 mal so groß werden wie im ersten Falle. Dieses Resultat ergibt sich denn auch tatsächlich, wenn wir als „Deutlichkeit" der Abbildung von K' den Ausdruck $D = \frac{J-J'}{J}$ definieren; denn dann wird in dem ersten der beiden soeben angenommenen Beispiele $D = \frac{1}{100} = 0{,}01$, in dem zweiten

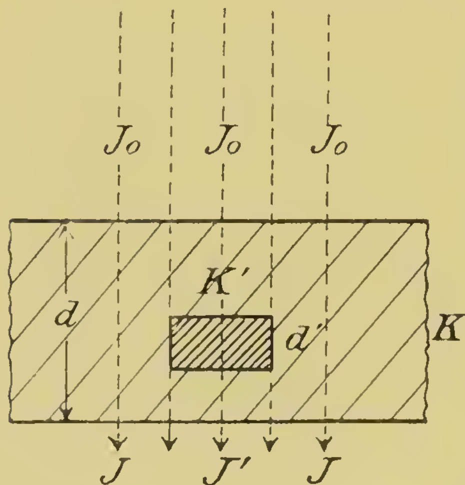


Fig. 15.

dagegen $D = \frac{1}{10} = 0{,}10$; d. h. es ist im letzten Falle D 10 mal so groß wie im ersten.

Es ist noch zu erwähnen, daß die Größe D natürlich nur einen positiven Wert haben kann, so daß wir also für $J > J'$ wie oben $D = \frac{J - J'}{J}$, für $J' > J$ dagegen $D = \frac{J' - J}{J}$ zu setzen haben. Der erstere dieser beiden Fälle tritt ein, wenn K' stärker absorbiert als K, der letztere dagegen, wenn das Umgekehrte der Fall ist.

Um nun aber diese Ausdrücke für unseren in Fig. 15 dargestellten Fall zu bilden, nehmen wir an, daß die Dicken der beiden Körper K und K' in der Richtung der Strahlung bzw. d und d' und ihre Absorptionskoeffizienten für dieselbe bzw. α und α' seien, wobei wir es vorläufig dahingestellt sein lassen, ob $\alpha' >$ oder $< \alpha$ ist, d. h. ob der eingeschlossene Körper stärker oder schwächer als die Umgebung absorbiert. Die Größe von J, d. h. die Intensität der Strahlung hinter K allein, wird dann unmittelbar durch die Gleichung 5 (S. 44) dargestellt; der Ausdruck für J' ferner ergibt sich ebenfalls sehr leicht, wenn man jene Gleichung mehrere Male hintereinander für die einzelnen in Betracht kommenden Schichten anwendet. Denn wenn wir die Dicke der über K' liegenden Schicht von K mit d_1 und die der darunter liegenden mit d_2 bezeichnen, so wird die in K' eintretende Intensität nach der Formel 4) offenbar $= J_0\, e^{-\alpha d_1}$ sein und die aus K' austretende ferner nach derselben Formel $= J_0\, e^{-\alpha d_1}\, e^{-\alpha' d'}$; denn jetzt ist als „eintretende Intensität" in jener Formel statt J_0 natürlich $J_0\, e^{-\alpha d_1}$ zu setzen. Die schließlich aus K austretende Intensität, d. h. die gesuchte Größe J' ergibt sich dann weiter in derselben Weise zu $J' = J\, e^{-\alpha d_1}$ $e^{-\alpha' d'}\, e^{-\alpha d_2} = J_0\, e^{-\alpha(d_1 + d_2)}\, e^{-\alpha' d'}$ wird. Nun ist aber $d_1 + d_2 = d - d'$, so daß mithin auch $J' = J_0\, e^{-\alpha(d - d')}\, e^{-\alpha' d'}$ gesetzt werden kann.

Aus diesem Ausdruck für J' sind nun aber die Größen d_1 und d_2 vollständig verschwunden, und von dem Körper K tritt darin nur noch die übrig bleibende Dicke $d - d'$ desselben auf. Mit anderen Worten heißt dies, daß die hinter K' aus K austretende Intentität J' der Strahlung stets den gleichen Wert erhält, gleichviel wo K' in K liegt; und dasselbe gilt mithin auch für die Deutlichkeit D des Bildes, denn die Größe J, die außer J' noch in D vorkommt, ist natürlich überhaupt nicht von K' abhängig. Wir erhalten somit den Satz, daß die Deutlichkeit eines in einer Umgebung K eingeschlossenen, stärker oder schwächer absorbierenden Körpers K' im Röntgenbilde — soweit nur die primäre Strahlung der Röhre in Betracht kommt — vollkommen unabhängig von der Lage des Körpers K' in K ist.

Da sich nun aber in Wirklichkeit ein der photographischen Platte naheliegender Körper K' in der Regel viel deutlicher abbildet als ein weit davon entfernter, so kann dies mithin nach dem Obigen nicht etwa aus etwaigen Intensitätsdifferenzen der beiden dabei in Frage kommenden Primärstrahlungen J und J' sondern eben nur aus anderen Gründen erklärt werden. In der Hauptsache kommt nun hier der bereits oben dargelegte Umstand in Frage, daß der Brennfleck der Röhre kein mathematischer Punkt ist, und daß daher der von der Platte entferntere Körper weniger scharf abgebildet wird als der nähere, eine Tatsache, die dann zur Folge hat, daß an der geometrischen Abbildungsgrenze des ersteren allmähliche Übergänge in der Schwärzung der photographischen Platte entstehen, durch welche dann der in der Regel sowieso nur geringe Kontrast zwischen J und J' vollends verwischt wird.

In solchen Fällen ferner, wo der eingeschlossene Körper K' stärker absorbiert als die Umgebung, kommt außerdem noch hinzu, daß derselbe dann, wenn er der Platte sehr nahe liegt, auch die aus K kommende Sekundärstrahlung stärker absorbiert als die benachbarten Teile von K selbst es tun, was dann bei dieser Lage natürlich ebenfalls zur Erzeugung eines größeren Kontrastes in der Abbildung beiträgt, als in dem Falle, wo K' weiter entfernt liegt. Falls es sich dagegen um einen schwächer absorbierenden eingeschlossenen Körper K', als z. B. um einen Luftraum im oder am menschlichen Leibe handelt, so fällt dieser letztere Grund natürlich fort; und so muß denn z. B. die Tatsache, daß sich bei einer seitlichen Schädelaufnahme in der Regel nur die Lufträume des der Platte anliegenden Ohres abbilden, nur der unschärferen Abbildung des abgewandten Ohres zugeschrieben werden. Der Beweis hierfür läßt sich am überzeugendsten dadurch führen, daß man eine solche Schädelaufnahme aus einem Abstande von mindestens 3 m zwischen Röhre und Objekt macht; denn dann wird man tatsächlich finden, daß die Lufträume der beiden Schädelhälften mit nahezu gleicher Deutlichkeit abgebildet werden. Eine solche Aufnahme fordert allerdings eine ziemlich lange Expositionszeit, zumal der Schädel schon sowieso nicht zu den am leichtesten zu durchleuchtenden Körperteilen gehört; und es ist daher von Interesse, daß sich die Richtigkeit der obigen Darlegungen noch auf eine andere, sehr viel leichtere Art, nämlich vermittelst der Durchleuchtung von Münzen, nachweisen läßt. Auch hier haben wir es nämlich in der beiderseitigen Prägung derselben mit Lufträumen zu tun, welche zu beiden Seiten eines stark absorbierenden Stoffes liegen, die aber in diesem Falle nicht einen so großen Abstandsunterschied haben, wie die beiden Ohren des menschlichen

Kopfes und daher auch zum Nachweis der obigen Behauptung nicht so große Entfernungen der Röntgenröhre verlangen. Dementsprechend genügt denn auch schon eine Röntgenaufnahme von verhältnismäßig kurzer Expositionsdauer, um zu beweisen, daß die beiderseitige Prägung einer Münze sich in einer Röntgenaufnahme mit genau derselben Schärfe abbildet. Am überzeugendsten zeigt man dies in der Weise, daß man von zwei gleichen Münzen die eine mit der Zahl nach oben und die andere mit der Zahl nach unten auf die Platte legt, unter welcher man aber hierbei natürlich nicht die Bleiplatte vergessen darf, um die von rückwärts kommende Sekundärstrahlung des Tisches abzuhalten (s. S. 35). Wenn sich nämlich dann überhaupt ein Unterschied in der Deutlichkeit der Abbildung der Zahlen der beiden Münzen ergibt, so kann man sicher sein, daß er nur durch einen entsprechenden Unterschied in der Tiefe der Prägung hervorgerufen wurde; denn, wie wir gleich sehen werden, macht bei diesen stark absorbierenden Stoffen schon ein ganz geringer Unterschied in der Dicke der in Frage kommenden Lufträume einen sehr starken Unterschied in der Größe des Quotienten $\frac{J'-J}{J}$ aus, von dem natürlich auch in diesem Falle die Deutlichkeit des Bildes abhängt.

Aus diesen Darlegungen ergibt sich mithin das Resultat, daß die größere Undeutlichkeit, welche in unsern gewöhnlichen Röntgenbildern die von der photographischen Platte weiter entfernt gelegenen Lufträume des menschlichen Körpers zeigen, lediglich durch die unschärfere Abbildung derselben, nicht aber etwa durch irgendwelche Sekundärstrahlungen zu erklären ist.

Kehren wir indessen zu der Ableitung des mathematischen Ausdruckes für die Deutlichkeit D eines Röntgenbildes, zurück, so müssen wir zunächst den oben für J' gefundenen Ausdruck noch etwas umformen. Es ist nämlich $J' = J_o\, e^{-\alpha(d-d')}\, e^{-\alpha' d'} = J_o\, e^{-\alpha d}\, e^{+\alpha d'}\, e^{-\alpha' d'} = J_o\, e^{-\alpha d}\, e^{-(\alpha'-\alpha)d'}$ und somit erhalten wir also in dem Falle, wo $\alpha' > \alpha$ ist, d. h. wo K' stärker absorbiert als K und also $J > J'$ ist, für D den Wert $\frac{J-J'}{J} = \frac{J_o\, e^{-\alpha d} - J_o\, e^{-\alpha d}\, e^{-(\alpha'-\alpha)d'}}{J_o\, e^{-\alpha d}} = \frac{J_o\, e^{-\alpha d}\, [1-e^{-(\alpha'-\alpha)d'}]}{J_o\, e^{-\alpha d}}$ d. h. also schließlich einfach

6 a) $$D = 1 - e^{-(\alpha'-\alpha)d'}.$$

Für den umgekehrten Fall, d. h. für $\alpha' < \alpha$ oder $J < J'$ ist dagegen $D = \frac{J'-J}{J}$ zu setzen, ein Ausdruck, der in derselben Weise wie oben

6 b) $$D = e^{(\alpha-\alpha')d'} - 1$$

ergibt, wobei hier, wo $\alpha' < \alpha$ ist, der Faktor $e^{-(\alpha'-\alpha)d'}$ in dem Ausdruck für J' besser in der Form $e^{(\alpha-\alpha')d'}$ geschrieben wird. Durch

diese verschiedene Schreibweise erhellt dann nämlich sofort, daß die Größe D in den beiden Gleichungen 6a und 6b positiv wird; denn in 6a, wo $\alpha' > \alpha$ ist, wird $e^{-(\alpha'-\alpha)d'} = \frac{1}{e^{(\alpha'-\alpha)d'}}$ stets < 1, während in 6b, wo $\alpha > \alpha'$ ist, $e^{(\alpha-\alpha')d'}$ stets > 1 wird, so daß also beidemale D stets positiv werden muß.

Aus diesen beiden Ausdrücken für D ergibt sich nun zunächst, daß, wenn die Annahmen unserer Theorie richtig wären, die Deutlichkeit eines Röntgenbildes vollständig unabhängig von der Dicke d des einschließenden Körpers K sein müßte; denn die Größe d kommt weder in 6a) noch in 6b) vor. Wenn demnach die primären Röntgenstrahlen der Röhre die oben von uns angenommene Eigenschaft hätten, daß ihr Absorptionsvermögen für alle Schichten des Stoffes K denselben Wert behielte, und wenn ferner auch in K keine Sekundärstrahlung entstände, so würde sich also der Körper K' z. B. in einer dreimal so dicken Umgebung ebenso deutlich abbilden lassen wie in einer dreißigmal so dicken; und der einzige, in diesen beiden Fällen in Frage kommende Unterschied wäre dann der, daß man im letzteren Falle nur entsprechend länger zu exponieren hätte als im ersten. In Wirklichkeit freilich ergibt sich nun bei dickerer Umgebung stets ein erheblich weniger deutliches Bild als bei dünnerer, und wir können daher hieraus umgekehrt schließen, daß dies nur daran liegen kann, daß einesteils in der dickeren Umgebung eine größere Menge Sekundärstrahlung entsteht, und daß andernteils darin auch die primäre Röntgenstrahlung selbst — nach dem Röntgenschen Absorptionsgesetze — eine größere Härte annimmt als in dem dünneren K und daher dann eben kontrastlosere Bilder liefert. Drittens ist aber noch zu bedenken, daß man in der Praxis bei dickeren K in der Regel auch schon von vornherein eine härtere Strahlung anwendet, da man dann bei einer weicheren sehr viel länger exponieren müßte.

Kehren wir indessen zu unseren theoretischen Ausdrücken für D zurück, so hängt nun diese Größe in beiden Formeln 6a) und 6b) nur von der Größe des Produktes $(\alpha' - \alpha)d'$ bezw. $(\alpha - \alpha')d'$, d. h. nur von dem Produkt aus der Dicke d' des eingeschlossenen Körpers K' und der Differenz der Absorptionskoeffizienten von K' und K ab. Je größer also diese Differenz ist, um so kleiner kann die Dicke d' des eingeschlossenen Körpers sein und umgekehrt; und aus der Tatsache z. B., daß bei weicherer Röhre alle Teile einer Röntgenaufnahme größere Kontraste zeigen, ist mithin der Schluß zu ziehen, daß die Differenz der Absorptionskoeffizienten für weichere Röntgenstrahlen allgemein größer wird.

Wenn ferner jene Differenz gleich Null wird, d. h. wenn K und K' gleich stark absorbieren, so wird auch die Deutlichkeit D nach beiden Formeln gleich Null; denn es ist dann sowohl $e^{-(\alpha'-\alpha)d}$ als auch $e^{(\alpha'-\alpha)d'} = e^0 = 1$; und zwar gilt dies für jeden Wert von d'. Mit andern Worten heißt dies, daß in einer gleich stark absorbierenden Umgebung auch der dickste eingeschlossene Körper verschwinden muß, ein Resultat, das ja übrigens selbstverständlich ist.

Weiter möge nun die bereits oben erwähnte, aus den Formeln 6 hervorgehende Tatsache, daß, je größer die Differenz der Absorptionskoeffizienten von K' und K ist, um so kleiner die Dicke von K' sein kann, noch durch einige Beispiele erläutert werden. Nehmen wir z. B. zunächst an, daß K aus menschlichen Weichteilen oder Wasser bestehe, so haben wir dafür bei Schichtdicken von 10 cm und darüber und für die dann in Frage kommende Strahlenhärte nach dem Obigen $\alpha = 0{,}3$ zu setzen. Für ein darin befindliches Stück Knochen K' von einigen Millimetern Dicke ferner ist etwa $\alpha' = 2{,}8$ zu setzen, so daß also in diesem Falle $\alpha' - \alpha = 2{,}5$ wird. Würde K' dagegen ein sehr dünnes Stück Eisen, Kupfer oder Messing sein, so hat man α' etwa $= 200$ zu setzen, so daß also dann $\alpha' - \alpha = 199{,}7$ wird. Nach dem Obigen kann man daher sagen, daß ein Stück der genannten Metalle, wenn es sich in stärkeren Weichteilen des Menschen ebenso deutlich abbilden soll, wie ein darin befindliches Knochenstück, nur $\frac{2{,}5}{199{,}7}$, d. h. nur rund $\frac{1}{80}$ von der Dicke des letzteren zu haben braucht.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn K' schwächer absorbiert als K; und hier ist nun für uns von besonderem Interesse der Fall, wo K' einfach ein Luftraum darstellt. In diesem Falle kann zunächst die Größe α' gegenüber den oben betrachteten Werten von α vernachlässigt werden, da der Wert der ersteren etwa 0,001 d. h. also viel kleiner als selbst das α des Wassers ist. Die Gleichung 6 *b*, die ja hier in Frage kommt, lautet demnach für luftförmige Einschlüsse einfach **Deutlichkeit eines Luftraumes**

6 b') $$D = e^{\alpha d'} - 1,$$

d. h. die Deutlichkeit D hängt dann nur von dem Produkt aus der Dicke d' des eingeschlossenen Luftraumes und dem Absorptionskoeffizienten α des einschließenden Mediums ab; und zwar wird sie um so größer, je größer dieses Produkt ist. Sollen also z. B. drei bezw. in Weichteilen, in Knochen und in Kupfer eingeschlossene Lufträume gleich deutlich im Röntgenbilde erscheinen, so müssen die Dicken derselben sich umgekehrt wie die, auf die in Frage kommenden Dicken bezogenen Absorptionskoeffizienten α dieser drei Stoffe — d. h. umgekehrt wie etwa 0,3 : 2,8 : 70 verhalten, wobei

hier für das Metall eine größere Dicke und daher auch ein kleineres α angenommen ist als in dem früheren Beispiele. Der Luftraum in den Weichteilen muß demnach für gleiche Deutlichkeit etwa 230 mal und der im Knochen etwa 25 mal so dick sein wie der im Kupfer.

Da sich nun aber z. B. bei der Röntgenographie einer Kupfermünze eine Vertiefung von 0,08 mm in der Prägung im Bilde noch sehr deutlich zu erkennen ist, so muß das gleiche — bei Anwendung äquivalenter Dicken — im Knochen für einen Luftraum von $25 \times 0{,}08 = 2{,}0$ mm und im Wasser für einen solchen von $230 \times 0{,}08 = 18$ mm Dicke gelten, und dies ist denn nun auch tatsächlich der Fall.

Der Ausdruck äquivalente Dicke soll dabei andeuten, daß man bei vergleichenden Versuchen dieser Art für die verschiedenen Stoffe natürlich solche Schichtdicken nehmen wird, welche annähernd gleich durchlässig sind, und welche deshalb einesteils das Durchdringungsvermögen der primären Strahlung der Röhre in annähernd gleicher Weise beeinflussen und anderenteils auch in sich selbst eine annähernd gleich starke Sekundärstrahlung entstehen lassen. Nach der Formel 5) heißt dies aber nichts anderes, als daß man bei solchen Vergleichen die Dicken der durchstrahlten Schichten wieder umgekehrt proportional dem Absorptionskoeffizienten der betreffenden Substanzen zu wählen hat, d. h. wenn z. B. die Dicke der Kupfermünze gleich 1 mm war, diejenige des Aluminiums gleich 2,5 mm und diejenige des Wassers sogar gleich 23 cm zu nehmen hat.

Der Versuch zeigt dann tatsächlich, daß die Deutlichkeit der genannten Lufträume in diesen drei so sehr verschiedenen Fällen annähernd die gleiche wird; und zwar benutzt man als solchen im Wasser zweckmäßig die Schwimmblase eines Fisches, während man das Wasser selbst in einen Trog füllt, dessen vordere und hintere Seitenwand durch starkes paraffiniertes Papier gebildet werden. Auch ist zu bemerken, daß hierbei die Luftblase nicht zu weit von der photographischen Platte entfernt liegen darf, da sonst bei den gewöhnlichen Röhrenabständen — wegen der nicht punktförmigen Gestalt des Brennfleckes der Röhre — die Umrisse der Blase im Bilde wieder zu unscharf werden würden.

In der Praxis handelt es sich nun aber in der Regel nicht um den Vergleich der Deutlichkeit eines bestimmten Körpers K' in verschiedenen Umgebungen K, sondern vielmehr umgekehrt um diejenige verschiedener Körper K' in derselben Umgebung K, also z. B. um den Vergleich der Deutlichkeit eines Luftraumes mit derjenigen eines Knochens im menschlichen Unterleibe. Wir stellen daher zunächst allgemein die Frage: wie groß muß die Dicke d' oder auch der Absorptionskoeffizient α' eines, sich in einer stärker absorbierenden Umgebung K mit dem Absorptions-

koeffizienten α befindenden Körpers K' sein, wenn er sich im Röntgenbilde ebenso deutlich von dieser Umgebung abheben soll wie ein gleichfalls darin befindlicher noch stärker als K absorbierender Körper K'' mit dem Absorptionskoeffizienten α'' und der Dicke d''?

Die Deutlichkeit von K' bestimmt sich dann unmittelbar nach der Formel 6b), diejenige von K'' dagegen nach der Formel 6a), wenn man darin α'' und d'' statt α' und d' setzt; und die Bedingung, daß diese beiden „Deutlichkeiten“ einander gleich sein sollen, liefert mithin die Gleichung

$$e^{(\alpha-\alpha')d'} - 1 = 1 - e^{-(\alpha''-\alpha)d''},$$

aus der sich

7) $$(\alpha - \alpha')d' = \log \operatorname{nat} [2 - e^{-(\alpha''-\alpha')d''}]$$

ergibt.

Diese Gleichung führt nun u. a. zu dem interessanten Resultat, daß ein, in einer beliebigen Umgebung K eingeschlossener Luftraum von einer gewissen Dicke ab ebenso deutlich werden muß, wie das stärkst absorbierende Metallstück. Diese Dicke des Luftraumes, die wir die „kritische Dicke“ desselben nennen und mit d'_∞ bezeichnen wollen, ergibt sich nämlich aus der Gleichung 7), wenn wir darin α'' oder $d'' = \infty$ setzen, was ja auf dasselbe hinauskommt, und wenn wir ferner noch $\alpha' = 0$ werden lassen, da es sich ja um einen Luftraum K' handelt. Dann erhält man nämlich aus jener Gleichung, da ja $e^{-\infty} = 0$ ist,

8) $$d'_\infty = \frac{1}{\alpha} \log \operatorname{nat} 2 = \frac{0{,}693}{\alpha}.$$

Diese kritische Dicke des Luftraumes wird also um so größer, je kleiner der Absorptionskoeffizient α der Umgebung ist; sonst aber hängt sie von keiner anderen Größe ab. Aus dieser Gleichung 8) können wir nun aber auch, sobald wir den Wert von α kennen, direkt die kritische Dicke des Luftraumes für das betreffende Medium berechnen. Für Weichteile, Knochen und Kupfer z. B. finden wir danach mit den oben angegebenen Werten von α bezw. die Größen 2,3 cm, 2,5 mm und 0,1 mm, so daß also Lufträume von dieser Dicke sich in den betreffenden drei Stoffen ebenso deutlich abbilden müssen wie ein gleichfalls darin eingeschlossenes, die Strahlung vollkommen absorbierendes Metallstück.

Auch diese Folgerung der Theorie wird durch die Versuche bestätigt, wobei man allerdings bei demjenigen mit dem Wassertroge und der Schwimmblase das Bleistück, welches man in diesem Falle als vollkommen absorbierendes Medium nehmen wird, nicht zu nahe an die photographische Platte heranbringen darf, da dasselbe sonst die in diesem Falle sehr starke Sekundärstrahlung des

Wassers gleichfalls von der Platte fernhält und dann natürlich im Bilde viel deutlicher hervortritt, als die Schwimmblase, die ja eine solche Absorption nicht ausübt. Ein inmitten einer 15—20 cm dicken Wasserschicht aufgehängtes Bleistück hingegen erscheint im Röntgenbilde durchaus nicht deutlicher als eine gleichzeitig darin schwimmend gehaltene Fischblase von 2—3 cm Dicke.

Dieses Resultat verliert übrigens das Überraschende, was es im ersten Augenblick vielleicht an sich hat, wenn man bedenkt, daß in diesem Falle diejenigen Teile der photographischen Platte, welche hinter der Umgebung K allein lagen, hinsichtlich der Schwärzung etwa die Mitte halten, zwischen den stärker geschwärzten Teilen, welche sich hinter dem Luftraum K' befanden und den schwächer geschwärzten, welche durch das Metallstück K'' geschützt waren. Auch erkennt man dann sofort, daß dieses Verhältnis von der Dicke von K selbst gänzlich unabhängig sein muß, wie ja auch die Formel 8 lehrt.

In Wirklichkeit muß man freilich noch berücksichtigen, daß mit zunehmender Dicke von K auch der Wert seines Absorptionskoeffizienten α immer kleiner wird (Röntgensches Absorptionsgesetz), so daß demnach dann nach der Gleichung 8 auch die kritische Dicke des Luftraumes in entsprechendem Maße zunehmen muß.

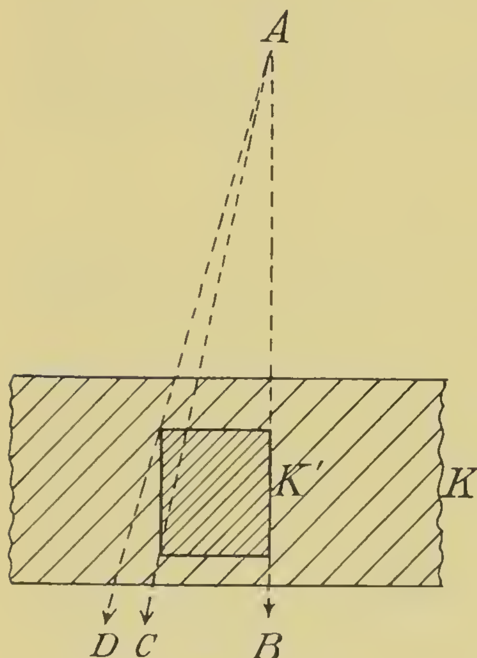


Fig. 16.

Außer diesen rein theoretischen Gesichtspunkten für die Deutlichkeit, mit welcher ein Körper K', der in einer Umgebung K eingeschlossen ist, sich im Röntgenbilde von letzterer abhebt, wird es nun in der Praxis hierbei allerdings auch noch auf die Art der Umrisse von K' sowie auch auf die Lage derselben in bezug auf die Richtung der abbildenden Strahlen ankommen. So sieht man z. B., daß bei der in Fig. 16 gezeichneten Einstellung des Körpers K' die rechte Seite desselben sich im Röntgenbilde viel deutlicher abheben muß als die linke; denn bei der ersteren verläuft der abbildende Strahl AB genau in der Richtung der Grenzlinie von K', und der Kontrast in der Intensität der Strahlungen J und J' tritt demnach hier in seiner ganzen Größe hervor, während auf der linken Seite von K diese Intensitäten vom Strahl AC bis AD hin ganz allmählich ineinander übergehen, und daher diese Grenze des Körpers im Bilde viel weniger deutlich erscheinen muß als die andere.

Am Schlusse dieses Kapitels möge nun noch ein etwas eingehenderer Bericht über die gegenwärtig herrschenden theoretischen Anschauungen über die Röntgenstrahlen gegeben werden. In dieser Hinsicht kommen nun wohl nur noch zwei Auffassungen in Betracht, von denen die eine die Röntgenstrahlen als schnell bewegte materielle Teilchen — ähnlich denen der Kathodenstrahlen — ansieht, während die andere darin eine Wellenbewegung des Äthers — ähnlich derjenigen des Lichtes — erkennen will.

Korpuskulartheorie der Röntgenstrahlen

Wenden wir uns zunächst zu der ersteren dieser beiden Theorien, die wir die Korpuskulartheorie der Röntgenstrahlen nennen wollen, so kann es sich danach bei dieser Strahlung, da dieselbe ja magnetisch nicht ablenkbar ist, natürlich nur um elektrisch ungeladene Teilchen handeln; und die Entstehung solcher Teilchen auf der Antikathode einer Röntgenröhre ist ja auch nicht unverständlich, wenn man bedenkt, daß ein großer Teil der auf sie fallenden, negativ geladenen Kathodenstrahlenteilchen durch die positive Ladung dieser Elektrode neutralisiert werden muß.

Diese Neutralisation kann nun aber auf zwei Arten geschehen, nämlich entweder dadurch, daß die Kathodenstrahlenteilchen einfach ihre Ladung auf der Antikathode abgeben und dann eben ungeladen weiter fliegen, oder aber auch dadurch, daß jedes der Kathodenstrahlenteilchen sich auf der Antikathode mit je einem positiv geladenen Teilchen verbindet und nun mit diesem zusammen als sog. „neutrales Paar" weiterfliegt. Die erstere dieser Erklärungsmöglichkeiten wurde vom Verfasser bereits im Jahre 1898 dargelegt (s. z. B. Fortschr. a. d. G. d. R., Bd. 2, p. 144), während die letztere erst 1907 von W. H. Bragg in Adelaide aufgestellt wurde. Nach jener wäre die Masse der Röntgenstrahlenteilchen nicht größer als die der Elektronen der Kathodenstrahlen, d. h. also etwa $^1/_{1800}$ von derjenigen des Wasserstoffatoms (s. oben S. 8), nach dieser dagegen würde es sich bei unsern Strahlen wahrscheinlich um Teilchen von der Größe der Atome selbst handeln; denn überall, wo die positive Elektrizität bisher in getrennten Teilchen beobachtet werden konnte, hat sie sich stets in Verbindung mit einer körperlichen Masse von mindestens der Größe eines Wasserstoffatoms gezeigt.

Für diese korpuskularen Theorien der Röntgenstrahlen lassen sich nun, da es bisher kein Mittel gibt, die Größe und Geschwindigkeit solcher überaus kleinen, elektrisch ungeladenen Teilchen zu messen, nur gewisse allgemeine Gründe anführen; vor allem nämlich die große Ähnlichkeit in dem Verhalten der Kathoden- und der Röntgenstrahlen bei der Absorption. Bei beiden Strahlungen wächst nämlich das Durchdringungsvermögen für alle körperlichen Stoffe mit der Erhöhung der elektrischen Spannung, welche zur Betätigung

des sie erzeugenden Vakuumapparates notwendig ist, eine Ähnlichkeit, die sich nach der korpuskularen Theorie der Röntgenstrahlen ohne weiteres versteht, denn durch die Erhöhung der an jenen Apparat angelegten Spannung wird eben, wie wir S. 8 gesehen haben, lediglich eine Erhöhung der Geschwindigkeit der dabei entstehenden Kathodenstrahlenteilchen bewirkt; und es ist deshalb von jenem Standpunkte aus selbstverständlich, daß damit auch die Geschwindigkeit und das Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlenteilchen wachsen muß. Die Äthertheorie dagegen steht hier einer vollständig neuen Erscheinung gegenüber; denn die Absorption der sonst bekannten Ätherschwingungen vollzieht sich nach ganz anderen Gesetzen.

Auch die Tatsache, daß das Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlen beträchtlich größer ist als das der sie erzeugenden Kathodenstrahlen (s. oben S. 10), versteht sich vom Standpunkte der Korpuskulartheorien aus ohne weiteres; denn die letzteren Teilchen werden natürlich — eben wegen ihrer elektrischen Ladung — in den Atomen der von ihnen durchsetzten Stoffe viel leichter hängen bleiben als die ersteren. Nach der Braggschen Korpuskulartheorie speziell kann man außerdem noch annehmen, daß die Unterschiede in dem Durchdringungsvermögen der harten und der weichen Röntgenstrahlen z. T. auch daher rühren, daß die Pärchen, aus welchen nach dieser Theorie die einzelnen Röntgenstrahlenteilchen bestehen, elektrisch bzw. mehr oder weniger eng miteinander verbunden sind; indessen scheint zur Erklärung dieses Unterschiedes auch schon die Annahme bloßer Geschwindigkeitsunterschiede der Teilchen zu genügen, während allerdings die noch viel größeren und auch mannigfaltigeren Unterschiede der sekundären Röntgenstrahlen, welche von den primären Strahlen in den verschiedenen Stoffen erzeugt werden, auch auf eine kompliziertere Beschaffenheit dieser Röntgenstrahlenteilchen selbst hindeuten.

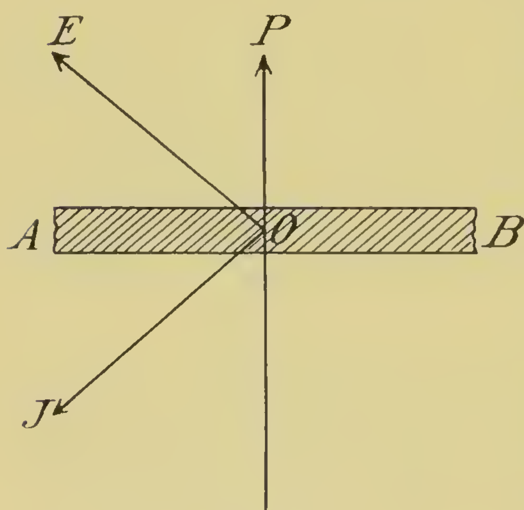


Fig. 17.

Für die Korpuskulartheorie der Röntgenstrahlen und geradezu gegen die Äthertheorie derselben spricht ferner noch die von Bragg und seinen Schülern gefundene Tatsache, daß die von einem Röntgenstrahlenbündel, welches sich in der Richtung des Pfeiles *P* (Fig. 17) ausbreitet, in einem dünnen Metallblech *AB* erzeugten sekundären Strahlungen nach der Seite *OE* hin in der Regel viel stärker sind als in der — sym-

metrisch zu OE — nach hinten zu gelegenen Richtung OJ. Die letztere Strahlung nennt Bragg — mit bezug auf die Richtung des primären Bündels — die „Inzidenzstrahlung" und die erstere entsprechend die „Emergenzstrahlung". Nach der Äthertheorie ist nun eine solche Bevorzugung der Emergenzstrahlung nicht zu verstehen, da hiernach die Ätherschwingungen in dem, sich in der Richtung P ausbreitenden Strahlenbündel nur transversal zur Ausbreitungsrichtung, d. h. nur in den auf P senkrecht stehenden Ebenen stattfinden können — bei den Lichtschwingungen wenigstens ist dies der Fall —, so daß dann also auch sämtliche von P erzeugten sekundären Strahlungen sich stets symmetrisch zu der in dem betreffenden Punkte auf P senkrecht stehenden Ebene ausbreiten müßten. Einen Unterschied in der Intensität der beiden hier in Rede stehenden Sekundärstrahlungen kann man also nach der Äthertheorie höchstens deswegen erwarten, weil das primäre Bündel beim Eintritt in AB stärker ist als beim Austritt; danach aber müßte dann offenbar die Inzidenzstrahlung OJ stärker sein als die Emergenzstrahlung OE, während in Wirklichkeit fast stets das Umgekehrte der Fall ist.

Vom Standpunkte der Korpuskulartheorie dagegen ist das letztere durchaus verständlich, denn hiernach müssen die in AB eindringenden materiellen Teilchen auf die Atome des Körpers eine lediglich nach vorne zu gerichtete Kraft ausüben, so daß daher

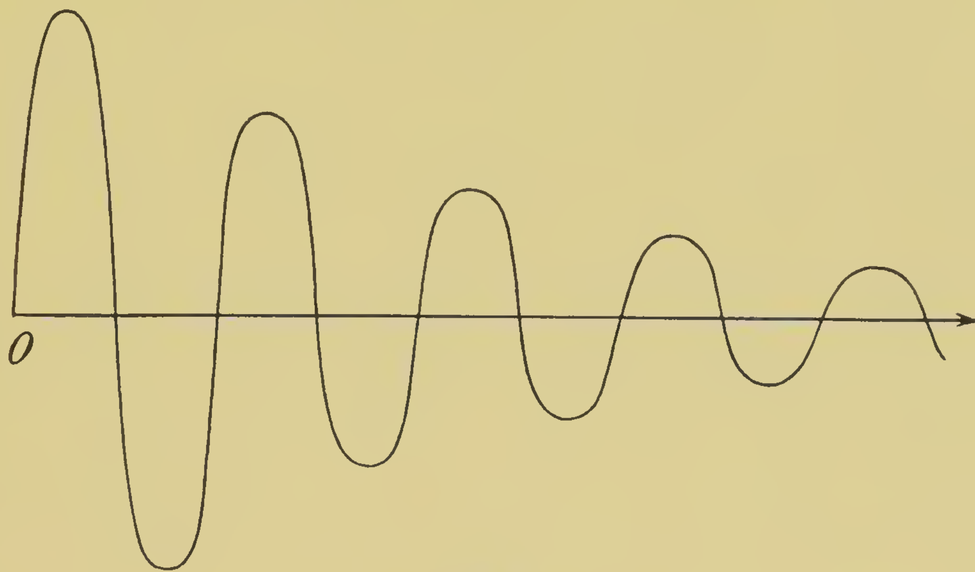


Fig. 18.

auch von den von ihnen als sekundäre Strahlung in Bewegung gesetzten Teilchen der größere Teil nach vorne zu gerichtet sein wird.

Was nun aber andererseits die Äthertheorie der Röntgenstrahlen angeht, zu der gegenwärtig die meisten Physiker hinneigen, so soll es sich hiernach bei unseren Strahlen um eine Wellenbewegung des Äthers ähnlich derjenigen des Lichtes handeln und der Unterschied Äthertheorie der Röntgenstrahlen

von diesem einesteils darin bestehen, daß die Wellenlänge der Röntgenstrahlenschwingungen eine sehr viel kleinere ist als die des Lichtes, und andernteils auch darin, daß Röntgenstrahlenwellen viel stärker gedämpft sind, als das Licht und daher einen mehr stoßartigen Charakter haben als dieses. Jede einzelne Röntgenstrahlenwelle würde danach also etwa den in der Fig. 18 dargestellten Verlauf nehmen, d. h. schon nach einer verhältnismäßig kleinen Anzahl von Schwingungen wieder erloschen sein, während bei einer Lichtwelle, wie wir aus gewissen Interferenzerscheinungen wissen, jede einzelne Erregung aus einem zusammenhängenden Wellenzuge von vielen tausend Einzelschwingungen besteht, so daß also in diesem Falle die Amplitude von einer Schwingung zur andern nur ganz außerordentlich wenig abnimmt.

Der Grund aber dafür, daß auf der Antikathode einer Röntgenröhre solche Röntgenstrahlenwellen entstehen, ist nun nach der Äthertheorie darin zu suchen, daß die daselbst aufprallenden Kathodenstrahlenteilchen durch diejenigen körperlichen Atome, in deren Wirkungskreis sie geraten, äußerst plötzliche Veränderungen sowohl der Größe als auch der Richtung ihrer Geschwindigkeit erleiden, indem nämlich — wegen der elektrischen Ladung der Teilchen — jede solche Veränderung gleichbedeutend mit der Veränderung der Stärke bzw. der Richtung eines elektrischen Stromes ist und daher nach den Gesetzen der Elektrodynamik auch jedesmal von einer sich in den umgebenden Raum ausbreitenden Induktionswirkung begleitet sein muß. Wir würden also danach in den Röntgenstrahlen im Grunde genommen denselben Vorgang vor uns haben, wie er z. B. auch im Induktionsapparate stattfindet, wenn wir den Strom in der primären Spule des Instrumentes plötzlich erregen oder unterbrechen; denn auch dann breitet sich von dieser Spule jedesmal eine Induktionswirkung in die Umgebung aus, welche die die Spule umgebende Hartgummiisolierung ohne Abschwächung durchdringt, um erst in der sekundären Spule des Instrumentes ihre später zu beschreibenden Wirkungen auszuüben. Auch hier nimmt man nämlich an, daß die Übertragung dieser Induktionswirkung in der Hauptsache durch den Äther geschieht, der ja in allen wägbaren Körpern nicht bloß enthalten sein, sondern sogar weitaus den größten Teil des von ihnen eingenommenen Raumes ausfüllen soll.

Ein anderes Erscheinungsgebiet, bei dem sich die Übertragung derartiger Induktionswirkungen sogar in noch viel auffälligerer Weise bemerkbar macht, ist die drahtlose Telegraphie; denn auch die Ätherwellen dieses Verkehrsmittels kommen lediglich dadurch zustande, daß die Stärke eines elektrischen Stromes in einem passend

geformten Leiter einer schnellen Änderung unterworfen wird; und zwar wissen wir hier sogar ganz sicher, daß jede in den Raum hinausgesandte Welle — sobald wenigstens ein Induktionsapparat zu ihrer Erregung benutzt wird — ungefähr das Aussehen der Fig. 18 hat, d. h. also eine stark gedämpfte Welle darstellt.

Allerdings ist die Ursache dafür, daß in diesem Falle überhaupt eine Welle, d. h. eine schwingende Bewegung des Äthers entsteht, sowie auch dafür, daß diese Welle eine gedämpfte ist, lediglich darin zu suchen, daß der elektrische Strom, welcher diese Welle erzeugt, selbst in der entsprechenden Weise hin und her schwingt; und bei den Röntgenstrahlenwellen müßte daher ebenfalls eine derartige wellenförmige Änderung der Geschwindigkeit der sie erzeugenden Kathodenstrahlenteilchen angenommen werden, eine Änderung, für die aber bisher kaum ein Grund angegeben werden kann. Denn wenn man z. B. annehmen wollte, daß diese periodischen Geschwindigkeitsänderungen der Kathodenstrahlenteilchen in der Antikathode durch die Schwingungen der elektrischen Atomladungen der letzteren hervorgerufen würden, so würde daraus folgen, daß auch die Periode dieser Schwingungen von derselben Größe wie diejenige dieser Ladungen sein müßte: das wäre aber die Größenordnung der gewöhnlichen Lichtschwingungen; denn von diesen wissen wir aus dem sog. Zeemann-Effekt, d. h. der Möglichkeit, die Schwingungszahl des Lichtes durch magnetische Felder zu verändern, daß es sich hierbei um Schwingungen der in den Atomen enthaltenen elektrischen Ladungen handeln muß.

Der Gedanke, daß die Röntgenstrahlen Ätherwellen von der Wellenlänge der gewöhnlichen Lichtwellen sein sollen, ist nun aber wohl schon wegen der großen Verschiedenheit in dem Verhalten beider Erscheinungen bei der Absorption von der Hand zu weisen; wenn es allerdings auch nicht ausgeschlossen erscheint, daß diese Unterschiede lediglich durch die viel stärkere Dämpfung der Röntgenstrahlenwellen bedingt sein könnten, eine Erscheinung, die ja ihrerseits wieder durch das äußerst schnelle Vorüberfliegen der Kathodenstrahlenteilchen an den die Schwingungen erregenden Atomladungen hervorgerufen sein könnte.

Berechnung der Wellenlänge der Röntgenstrahlen

Die gegenwärtigen Vertreter der Äthertheorie der Röntgenstrahlen suchen allerdings die vermeintliche Wellenlänge der letzteren in einer ganz anderen Größenordnung als in der unserer Lichtschwingungen; denn jene soll danach mehr als 1000 mal kleiner sein als diese. Neuerdings haben nämlich W. Wien und J. Stark unabhängig voneinander einen Weg gezeigt, auf dem sich die Wellenlänge unserer Strahlen direkt berechnen lassen soll. Sie benutzen dazu die von M. Planck auf Grund rein mathematischer

Erwägungen gewonnene Anschauung, daß bei der Absorption einer Ätherwelle von der darin enthaltenen Energie während jeder Schwingung immer nur ein ganz bestimmter Bruchteil, ein sog. „Elementarquantum der Energie“, an den absorbierenden Körper abgegeben wird, ein Quantum, das sich nur noch mit der Größe der Wellenlänge ändert, und zwar einfach nach der Formel

9) $$\varepsilon = \frac{h \cdot c}{\lambda},$$

worin ε das in Rede stehende Energiequantum, λ die Wellenlänge der in Frage kommenden Strahlung, c die Lichtgeschwindigkeit und h die sog. Plancksche Konstante bedeutet, die von diesem Forscher aus Beobachtungen über Wärmestrahlung zu $6{,}55 \,.\, 10^{-27}$ berechnet worden ist. Statt des Bruches $\frac{c}{\lambda}$ kann man übrigens in die Formel 9) auch einfach die Schwingungszahl n, d. h. die Zahl der in einer Sekunde ausgeführten Schwingungen einsetzen, die ja z. B. beim gelben Lichte $5 \,.\, 10^{14}$, d. h. 500 Billionen, beträgt.

Diese Formel 9) hat nun bei derjenigen Absorption des Lichtes, bei welcher das letztere auf eine, in einem hochevakuierten Gefäße aufgestellte Metallelektrode fällt und darin, wie zuerst von Lenard gezeigt wurde, Kathodenstrahlen auslöst, tatsächlich schon eine recht gute Bestätigung erfahren. Unter der Annahme nämlich, daß jedes dieser ausgelösten Kathodenstrahlenteilchen ein solches Elementarquantum der Energie mit sich nimmt, muß sich offenbar die Geschwindigkeit dieser Teilchen auf Grund der Formel 9) unmittelbar aus der Wellenlänge des erregenden Lichtes berechnen lassen. Zu diesem Zwecke haben wir einfach die lebendige Kraft, d. h. das halbe Produkt aus der Masse m und dem Quadrat der Geschwindigkeit v des Teilchens gleich jenem Elementarquantum ε zu setzen und erhalten mithin nach Gleichung 9) $\frac{m}{2} v^2 = \frac{h \cdot c}{\lambda}$, so daß sich also

10) $$v = \sqrt{\frac{2hc}{\lambda m}}$$

ergibt.

Setzt man nun in diese Gleichung für h die oben angegebene Zahl, für die Lichtgeschwindigkeit c ferner ihren bekannten Wert $3 \,.\, 10^{10}$ cm/sec, und für die Masse m eines Kathodenstrahlenteilchens die aus Ablenkungsbeobachtungen folgende Größe $8{,}77 \,.\, 10^{-28}$ g, so findet man, wenn man als erregendes Licht ultraviolette Strahlen von der Wellenlänge $3 \,.\, 10^{-5}$ cm annimmt, für v nach der Gleichung 10) den Wert $1{,}5 \,.\, 10^{8}$ cm/sec, während Lenard als Größenordnung für die Geschwindigkeit der von ihm mit solchem Licht ausgelösten Kathodenstrahlenteilchen rund $1 \,.\, 10^{8}$ cm/sec an-

gegeben hat. Die Übereinstimmung ist also der Größenordnung nach tatsächlich vorhanden.

Eine andere Bestätigung hat die Theorie bei diesen Versuchen noch dadurch gefunden, daß bei Anwendung monochromatischen Lichtes die Geschwindigkeit der ausgelösten Kathodenstrahlenteilchen mit abnehmender Wellenlänge tatsächlich wächst, wie die Formel 10) es verlangt.

Nun lösen aber auch die Röntgenstrahlen, wenn sie auf eine im Vakuum aufgestellte Metallplatte fallen, darin Kathodenstrahlenteilchen aus, Teilchen, deren Geschwindigkeit man durch magnetische und elektrostatische Ablenkungsversuche messen kann; und somit erscheint es also — vom Standpunkte der Wellentheorie der Röntgenstrahlen wenigstens — durchaus berechtigt, die so gut bestätigte Formel 10) jetzt umgekehrt auch dazu zu benutzen, aus der nunmehr als bekannt anzunehmenden Größe v die unbekannte Wellenlänge λ unserer Strahlen zu berechnen, zu welchem Zweck man jene Formel natürlich besser in der Form

10a) $$\lambda = \frac{2hc}{mv^2}$$

schreibt.

Die Werte der Geschwindigkeit v der von den Röntgenstrahlen ausgelösten Kathodenstrahlenteilchen liegen nun nach Innes (s. Fortschr. a. d. G. d. R.-Str. Bd. 11, S. 373) bei Anwendung weicher Röntgenstrahlen zwischen $6{,}0 \,.\, 10^9$ und $7{,}6 \,.\, 10^9$ cm/sec, für harte dagegen zwischen $6{,}1 \,.\, 10^9$ und $8{,}3 \,.\, 10^9$ cm/sec, so daß mithin die Wellenlänge der auslösenden Röntgenstrahlen nach der Formel 10a) im ersteren Falle zwischen $1{,}24 \,.\, 10^{-8}$ und $0{,}78 \,.\, 10^{-8}$ cm und im letzteren zwischen $1{,}20 \,.\, 10^{-8}$ und $0{,}65 \,.\, 10^{-8}$ cm liegen würde.

Aus dieser Theorie würde also zunächst folgen, daß die primäre Röntgenstrahlung in jedem Falle aus einem Gemisch von Strahlen verschiedener Wellenlänge besteht, und daß ferner die Wellenlängen der Strahlen einer harten Röhre im Durchschnitt etwas kleiner sind als die einer weichen. Was nun zunächst den ersten Punkt anbetrifft, so hat schon Röntgen aus der von ihm gefundenen Tatsache, daß das Durchdringungsvermögen seiner Strahlen beim Durchgang durch irgendeinen Stoff fortwährend wächst (s. oben S. 44), den Schluß gezogen, daß die Strahlung einer jeden Röntgenröhre aus einem Gemisch von Strahlen verschiedenen Durchdringungsvermögens besteht; und diese Vermutung ist auch später durch Versuche von Adams (s. Fortschr. a. d. G. d. R.-Str. Bd. 11, S. 227) tatsächlich bestätigt worden.

In bezug auf die obigen Wellenlängenberechnungen selbst ist

ferner noch zu bemerken, daß danach zwar den Strahlen mit großem Durchdringungsvermögen, den harten Röntgenstrahlen also, die kleinere Wellenlänge zukommt, und also die weichen Strahlen dem Lichte am nächsten stehen würden. Immerhin bestünde aber doch zwischen diesem und den Röntgenstrahlen noch ein ganz gewaltiger Unterschied in der Wellenlänge; denn die größte der oben berechneten Röntgenstrahlenwellen würde immer noch etwa 1000 mal kleiner sein als die kleinste Welle der bisher beobachteten Lichtwellen, die nämlich etwa $1 \,.\, 10^{-5}$ cm beträgt.

Somit erscheint es also auch nicht unmöglich, daß die großen Unterschiede in dem Verhalten der Röntgenstrahlen und dem des Lichtes bei der Absorption lediglich auf diese gewaltigen Unterschiede in der Größe der Wellenlänge beider Strahlengattungen zurückzuführen sind, zumal wenn man noch berücksichtigt, daß zwischen beiden Größen diejenige des Durchmessers der körperlichen Moleküle liegt, den man nämlich auf Grund sehr vieler verschiedener Methoden zwischen $2 \,.\, 10^{-8}$ und $1{,}2 \,.\, 10^{-7}$ cm berechnet hat. Die Lichtwellen sind also danach mehr 100 mal so lang, die Röntgenwellen dagegen sämtlich nur wenig kürzer als der Molekulardurchmesser; und es ist daher auch durchaus verständlich, daß die ersteren bei ihrer Ausbreitung in irgendeinem körperlichen Stoffe sehr wesentlich durch die Gruppierung der Moleküle desselben beeinflußt werden und also z. B. an glatten Oberflächen Reflexion und Brechung zeigen, und daß die letzteren es dagegen lediglich mit den Teilen der Moleküle, d. h. also den Atomen, zu tun haben und daher eine regelmäßige Spiegelung und Brechung derselben nicht möglich ist. Zugleich versteht man dann auch leicht die früher mitgeteilte Tatsache, daß die Absorption der Lichtstrahlen in einem bestimmten Stoffe hauptsächlich von der Beschaffenheit des Moleküls, die der Röntgenstrahlen dagegen in keiner Weise mehr davon abhängt, sondern lediglich durch die Dichte und das Atomgewicht, d. h. lediglich durch die Zahl der in der Volumeinheit des absorbierenden Körpers enthaltenen letzten Bestandteile seiner Atome, bedingt wird, als welche man vielleicht elektrisch geladene Teilchen von der Größe des Elektrons, d. h. des Kathodenstrahlenteilchens, anzusehen hat.

Etwas schwer verständlich allerdings erscheint es noch, daß die bekannten großen Unterschiede in dem Durchdringungsvermögen der harten und der weichen Röntgenstrahlen schon durch so geringe Unterschiede der Wellenlänge verursacht sein sollen, wie sie sich aus den oben dafür berechneten Zahlenwerten ergeben würden.

Beugungsversuche mit Röntgenstrahlen

Im Anschluß an diese Betrachtungen muß noch erwähnt werden, daß man die Wellenlänge der Röntgenstrahlen auch schon lange

vor Aufstellung der obigen Theorie direkt aus Beugungsversuchen zu ermitteln gesucht hat, und daß insbesondere Haga und Wind in Groningen aus ihren derartigen Versuchen auch tatsächlich Wellenlängen von der oben auf theoretischem Wege berechneten Größenordnung gefunden haben wollten. Nach der Ansicht des Verfassers, der die Versuche der genannten Beobachter mehrfach — neuerdings auch in Verbindung mit R. Pohl — in mehr und mehr vervollkommneter Weise wiederholt hat, ist jedoch eine Beugung unserer Strahlen in der von Haga und Wind angenommenen Größenordnung nicht vorhanden, und die soeben erwähnte Übereinstimmung von Theorie und Beobachtung muß also als ein Zufall betrachtet werden.

Um einen Begriff von den außerordentlichen Schwierigkeiten zu geben, welche bei derartigen Beugungsversuchen zu überwinden sind, sei erwähnt, daß dabei die Strahlen der Röntgenröhre zunächst durch einen nur etwa 0,01 mm breiten Spalt in ca. 1 mm dickem Platin hindurchgesandt werden, und daß dann dieses äußerst schmale Strahlenbündel auf einen zweiten, etwa 80 cm davon entfernten Spalt fällt, der sich von oben nach unten hin keilförmig von etwa 0,010 mm bis zu 0,001 mm verjüngt, und daß es nun darauf ankommt, davon auf einer, abermals in 80 cm Abstand dahinter aufgestellten photographischen Platte ein möglichst scharfes Röntgenbild des zweiten Spaltes zu erzielen, was natürlich bei diesem großen Abstand zwischen Objekt und Platte eine vollkommen erschütterungsfreie Aufstellung der Spalte erfordert, zumal wegen der geringen, durch den ersten Spalt hindurchgehenden Röntgenenergie hierbei stundenlange Expositionen nötig sind.

Eine möglichst große Schärfe der Abbildung jenes Spaltes ist hierbei nämlich deswegen notwendig, weil dadurch entschieden werden soll, ob das so erzeugte Bild des zweiten Spaltes einfach durch einen geradlinigen Verlauf der aus dem ersten Spalt kommenden Röntgenstrahlen erzeugt wurde, oder ob die letzteren in dem zweiten Spalte von dem geradlinigen Wege abgebeugt worden sind, eine Erscheinung, die bei gewöhnlichem Licht schon für Spalte von 1 mm Breite mit Leichtigkeit beobachtet werden kann.

Aus unseren neuesten Versuchen dieser Art glauben wir nun aber mit ziemlicher Sicherheit schließen zu können, daß bei den erwähnten Abständen das Bild des zweiten Spaltes noch bis zu einer Weite von 0,002 mm desselben hinab vollkommen der geradlinigen Ausbreitung der Strahlen entspricht; und da sich nun noch engere Spalte überhaupt nicht mehr mit der nötigen Genauigkeit herstellen lassen — die unsrigen waren bei Zeiß in Jena mit größter Sorgfalt eigens für diesen Zweck angefertigt —, so kann

man also wohl sagen, daß sich eine Beugung der Röntgenstrahlen selbst mit den feinsten gegenwärtig herstellbaren Spalten nicht nachweisen und sich demnach auch bis jetzt aus diesen Versuchen ein bestimmter Wert für die Wellenlänge unserer Strahlen nicht ermitteln läßt. Vielmehr kann man bis jetzt von diesem Gesichtspunkte aus höchstens von einer oberen Grenze dieser Wellenlänge sprechen, wobei es dann aber immer noch unbestimmt bleibt, ob es überhaupt eine solche Wellenlänge gibt oder nicht. Nimmt man jedoch das erstere an und macht ferner noch die Annahme, daß auf diese Wellen die Gesetze der Beugung der gewöhnlichen Lichtwellen Anwendung finden, d. h. daß es sich dort wie hier um periodische Vorgänge im Äther handelt, so kann man auf Grund unserer Beugungsversuche berechnen, daß diese Wellenlänge sicher kleiner als $2 . 10^{-9}$ cm sein muß, eine Zahl, die etwa dreimal so klein ist als die kleinste der oben aus der Theorie der Energiequanten berechnete Wellenlänge, so daß demnach diese Theorie durch die Beugungsversuche nicht bestätigt zu werden scheint.

Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen

In anderer Weise hat man dann die Äthertheorie der Röntgenstrahlen noch dadurch zu bestätigen gesucht, daß man die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Strahlung zu bestimmen versuchte, um sie womöglich gleich derjenigen des Lichtes ($3 . 10^{10}$ cm/sec) zu finden. Denn wenn dies letztere zutreffen würde, so wäre dadurch natürlich ein äußerst überzeugender Beweis dafür geliefert, daß man es auch bei den Röntgenstrahlen ebenso wie beim Lichte lediglich mit Vorgängen im Äther zu tun hat, während man nach der Korpuskulartheorie der Röntgenstrahlen für diese schon deswegen eine kleinere Geschwindigkeit zu erwarten hat, weil sich ja schon die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kathodenstrahlen wesentlich kleiner als die des Lichtes ergeben hat.

Die ersten Versuche zur Ermittelung der Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen wurden nun im Jahre 1900 von Blondlot in Nancy angestellt, der seine Röntgenröhre durch sehr schnelle elektrische Schwingungen erregte, von denen gleichzeitig eine Funkenstrecke gespeist wurde, die ihrerseits wieder von den Strahlen der Röhre beeinflußt werden sollte. Die Geschwindigkeit dieser Strahlen wollte dann Blondlot in der Weise ermittelt haben, daß er bei Entfernung der Röhre von der Funkenstrecke eine periodische Änderung des Einflusses der ersteren auf die letztere zu finden vermeinte, wobei sich dann aus der Länge der Luftstrecke und der Schwingungsdauer seiner elektrischen Wellen die gesuchte Ausbreitungsgeschwindigkeit ergab, die Blondlot zuerst tatsächlich derjenigen des Lichtes gleich fand. Später hat er dann aber diese Versuche selbst widerrufen, indem er angab, daß die von ihm den

Röntgenstrahlen der Röhre zugeschobenen Einflüsse auf die Funkenstrecke gar nicht auf diese Strahlen sondern auf eine ganz neue Art von Strahlen zurückzuführen sei, die er N-Strahlen nannte, und die er dann später auch in der Strahlung vieler gewöhnlicher Lichtquellen, z. B. der Sonne und der Nernstlampe, ja sogar in der einer tönenden Glocke usw. wiederzufinden vermeinte, von der aber gegenwärtig überhaupt nicht mehr die Rede ist.

Eine etwas andere Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen veröffentlichte ferner E. Marx in Leipzig im Jahre 1905, der ebenfalls diese Geschwindigkeit gleich derjenigen des Lichtes gefunden haben wollte, und dessen Versuche auch anfangs für ziemlich einwandfrei gehalten wurden. Neuerdings sind jedoch dieselben von Franck und Pohl wiederholt worden, und es behaupten diese Beobachter, daß sich nach der Marx'schen Methode die gesuchte Geschwindigkeit überhaupt nicht bestimmen lasse. Außerdem aber hat auch dieser Beobachter selbst seine Anschauungen über die Vorgänge bei seinen Versuchen mehrfach in sehr erheblicher Weise geändert, so daß man also in diesem Punkte wohl noch kein endgültiges Urteil fällen kann.

Endlich sei noch einer eigentümlichen, bei den Röntgenstrahlen auftretenden Erscheinung gedacht, welche Barkla in Liverpool im Jahre 1905 gefunden haben will, und welche er als eine Polarisation dieser Strahlen bezeichnet. Mit diesem Namen belegt man in der Optik bekanntlich diejenige Eigenschaft des Lichtes, welche es erhält, wenn es z. B. an einer gewöhnlichen Glasplatte unter einem bestimmten Winkel, dem sog. Polarisationswinkel, reflektiert wird, oder noch besser, wenn es durch gewisse doppelt brechende Kristalle hindurch geht. Diese Eigenschaft äußert sich z. B. darin, daß eine zweite Glasplatte bzw. ein zweiter derartiger Kristall, wenn sie passend aufgestellt werden, für das betr. Licht absolut undurchlässig erscheinen, während sie für gewöhnliches Licht unter denselben Umständen vollkommen klar durchsichtig sind. Ferner zeigt sich hierbei, daß diese Undurchlässigkeit des zweiten Körpers abwechselnd verschwindet und wieder auftritt, wenn man denselben um die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes jedesmal um 90° dreht, eine Tatsache, die schon darauf hindeutet, daß es sich hier um einen Vorgang in demselben handeln muß, der nur in einer, durch jene Fortpflanzungsrichtung gelegten Ebene stattfindet. Durch Interferenzbeobachtungen mit derartig polarisiertem Lichte läßt sich ferner zeigen, daß alle diese Erscheinungen in sehr einfacher Weise durch die Annahme zu erklären sind, daß die Schwingungen des Äthers, durch welche das Licht sich ausbreitet, niemals longitudinal, d. h. in der Ausbreitungsrichtung, sondern stets nur

Polarisation der Röntgenstrahlen

transversal, d. h. senkrecht zu derselben, stattfinden, und daß ferner beim gewöhnlichen Lichte diese transversalen Schwingungen in allen möglichen durch jene Richtung gelegten Ebenen, beim polarisierten dagegen nur in einer einzigen derselben stattfinden, so daß also polarisiertes Licht nichts anderes als „in einer bestimmten Ebene schwingendes Licht“ bedeutet.

Nach der gegenwärtig allgemein angenommenen, sog. elektromagnetischen Theorie des Lichtes muß es sich nun aber ferner nicht blos bei den Schwingungen der Körperteilchen, durch welche das Licht entsteht, sondern auch selbst bei den Schwingungen des Äthers, durch welche diese Strahlung sich im Raume ausbreitet, um die Hin- und Herbewegung elektrischer Ladungen handeln; und somit müssen wir es also auch bei den Röntgenstrahlen, wenn dieselben dem Lichte wesensgleich sein sollen, mit derartigen Schwingungen elektrischer Ätherladungen zu tun haben. Für eine polarisierte Röntgenstrahlung ferner müßten diese Schwingungen natürlich wieder wie beim polarisierten Lichte sämtlich in einer und derselben, durch die Ausbreitungsrichtung der Strahlen gelegten Ebene stattfinden.

Barkla ging nun bei seinen Versuchen von der Ansicht aus, daß schon auf der Antikathode A einer Röntgenröhre (s. Fig. 19) derartige polarisierte Röntgenwellen entstehen müssen. Durch die von der Kathode K aus auf dieselbe fallenden Kathodenstrahlenteilchen sollen nämlich die elektrischen Ladungen der Atome des Antikathodenmetalles hauptsächlich in der Bewegungsrichtung KA jener Teilchen, d. h. also in der, in der Figur durch den Doppelpfeil bei A bezeichneten Richtung in Schwingung versetzt werden, so daß mithin auch in allen von A ausgehenden Röntgenwellen die Schwingungen des Äthers vorzugsweise in einer mit KA parallelen Richtung vor sich gehen, d. h. also teilweise polarisiert sein sollen.

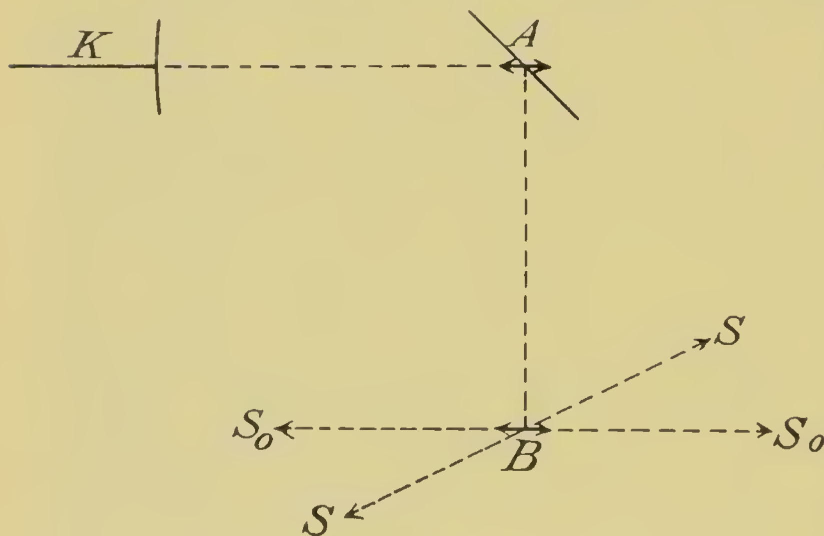


Fig. 19.

Das Vorhandensein dieser Polarisation suchte Barkla ferner dadurch nachzuweisen, daß er die Stärke der von den Strahlen in verschiedenen Körpern erzeugten sekundären Röntgenstrahlen für zwei bestimmte Emissionsrichtungen der letzteren maß. Da es

sich nämlich nach der elektromagnetischen Theorie der Röntgenstrahlen — wie man ja die Äthertheorie derselben auch nennen kann — hierbei ebenfalls um Schwingungen elektrischer Ätherladungen handelt, die natürlich mit den in der Antikathode vor sich gehenden, die Strahlung veranlassenden Schwingungen parallel sein werden, so werden mithin auch in jedem Atom B (Fig. 19) des von der Strahlung getroffenen Körpers die elektrischen Ladungen des letzteren wieder vorzugsweise in der Richtung des in B gezeichneten Doppelpfeiles in Schwingung versetzt werden, eine Schwingung, die nun ihrerseits wieder im Äther sekundäre Schwingungen — eben die sekundären Röntgenstrahlen — erregt. Diese letzteren können sich nun aber, wenn es sich hierbei wieder um einen dem Lichte wesensgleichen Vorgang handelt, nicht in der Richtung der Schwingung selbst, d. h. also nicht nach S_0 hin ausbreiten; denn das würde ja eine longitudinale Schwingung ergeben, die es, wie schon oben gesagt wurde, beim Lichte nicht gibt. Somit kommen wir also nach Barkla schließlich zu dem Resultat, daß eine etwaige, in der primären Strahlung der Röntgenröhre stattfindende Polarisation sich dadurch nachweisen lassen muß, daß die von ihr in einem Atom B erregte sekundäre Röntgenstrahlung sich nach verschiedenen Richtungen hin mit verschiedener Intensität ausbreiten wird; und zwar muß dieselbe am schwächsten in der in Fig. 19 durch die punktierte Gerade $S_0 S_0$ bezeichneten Richtung, die in der Ebene KAB liegt und auf AB in B senkrecht steht. Am stärksten dagegen wird die Strahlung in allen auf $S_0 S_0$ in B senkrecht stehenden Richtungen sein, Richtungen, von denen in der Fig. 19 nur eine, nämlich die auch auf der Ebene KAB senkrecht stehende, durch die punktierte Linie SS angedeutet ist. Die letztere stellt also nicht etwa eine Richtung von besonders großer Intensität der Sekundärstrahlung dar, sondern diese Intensität muß vielmehr — nach der gegebenen Theorie — in der ganzen, durch SS und AB gelegten Ebene dieselbe sein, für alle aus dieser Ebene heraustretenden Strahlen dagegen um so schwächer werden, je mehr dieselben gegen diese Ebene geneigt sind und also am schwächsten für die auf dieser Ebene senkrecht stehende Richtung $S_0 S_0$.

Schon zu diesen theoretischen Annahmen Barklas ist nun zu bemerken, daß man derartige Intensitätsunterschiede, wie sie hiernach für die von B ausgehende sekundäre Röntgenstrahlung stattfinden sollen, danach doch ebensogut auch schon für die von A ausgehende primäre Strahlung der Röhre erwarten sollte, so daß sich also auch schon diese Strahlung am stärksten in allen auf KA in A senkrecht stehenden Richtungen, d. h. also im zweiten Hauptschnitt der Röhre (s. S. 23), und am schwächsten in der

Richtung KA selbst ausbreiten sollte. Daß nun aber einesteils von jenem Maximum der Röntgenstrahlenintensität im zweiten Hauptschnitte einer gewöhnlichen Röntgenröhre bisher nichts gefunden worden ist, ergibt sich schon aus unseren früheren Darlegungen über die Intensität dieser Strahlung in verschiedenen Emissionsrichtungen (s. S. 27 ff.); und daß andererseits auch kein Minimum der Strahlungsintensität in der Richtung der Kathodenstrahlen selbst existiert, davon legen die vielen Röntgenbilder Zeugnis ab, die in der ersten Zeit nach der Entdeckung unserer Strahlen mit Hilfe einer Röhre der Form der Fig. 1 (S. 4) erhalten wurden, denn diese zeigen nach der Verlängerung der Achse der Röhre — über B hinaus — durchaus nicht jenes Minimum der Röntgenstrahlenwirkung, welches man nach den gegebenen theoretischen Darlegungen hier erwarten müßte.

Alle diese Tatsachen können übrigens nicht bloß als ein Einwurf gegen die Barklaschen Überlegungen, sondern auch sogar als ein solcher gegen die Äthertheorie der Röntgenstrahlen überhaupt angesehen werden; denn nach dieser sollte man doch aus den oben angegebenen Gründen eine besonders große Intensität der Strahlung in der auf KA in A (Fig. 19) senkrecht stehenden Ebene, nicht aber eine nahezu vollkommen gleichmäßige Ausbreitung der Strahlung nach allen Richtungen hin erwarten. Um diesem Einwand zu begegnen, nimmt die Äthertheorie an, daß die Röntgenwellen größtenteils nicht gleich beim ersten Anprall der Kathodenstrahlenteilchen auf der Antikathode, sondern erst nach vielen Kreuz- und Querfahrten derselben im Antikathodenmetall entstehen.

Was aber sodann die Versuche Barkla's anbetrifft, wodurch derselbe eine teilweise Polarisation der primären Röntgenstrahlung bewiesen haben will, so hat dieser Beobachter dabei die von B (Fig. 19) ausgehende Sekundärstrahlung mit Hilfe zweier bzw. bei S und S_0 aufgestellter Elektroskope (s. oben S. 18) gemessen, und will dann tatsächlich bei gewissen Körpern B in S eine größere Intensität dieser Strahlung gefunden haben als in S_0. Der Unterschied soll sich besonders für Körper mit niedrigem Atomgewicht wie Kohlenstoff und seine organischen Verbindungen, ferner für Aluminium usw. zeigen. Diese Versuche sind übrigens vor kurzem auch von E. Baßler in dem Röntgenschen Laboratorium in München wiederholt worden, und es hat auch dieser Beobachter für gewisse Körper B — bei Benutzung einer noch etwas verfeinerten elektroskopischen Meßmethode — die von B ausgehende Sekundärstrahlung nach S hin stärker als nach S_0 hin gefunden; indessen zeigen doch die Angaben beider Beobachter für denselben Körper B noch ganz auffallende Unterschiede; denn nach Barkla sollte z. B.

für Aluminium die Strahlung in S um 20% stärker sein als in S_0, während Baßler dafür nur 2% Unterschied findet, und die stärksten Unterschiede nach letzterem überhaupt nur 12—15% (für Paraffin und Petroleum) betragen.

Ein anderer merkwürdiger Umstand bei diesen Versuchen, der zuerst von Haga aufgedeckt und auch von Baßler bestätigt wurde, ist der, daß sich solche Unterschiede der Sekundärstrahlung von B mit der photographischen Platte überhaupt nicht nachweisen lassen; und somit handelt es sich also auch hier noch um ein sehr wenig geklärtes Gebiet, das zu definitiven Schlüssen über den Charakter der Röntgenstrahlen wenig geeignet erscheint. Immerhin möge noch erwähnt werden, daß nach Barkla die sekundären von B ausgehenden Röntgenstrahlen nicht bloß teilweise, sondern sogar nahezu vollständig polarisiert sein sollen und daß Haga diese Polarisation auch auf photographischem Wege bestätigt hat. Da indessen zum Nachweis dieser Erscheinung erst wieder die von der Sekundärstrahlung von B in einem zweiten Körper B_1 erzeugten Tertiärstrahlen dienen, so werden die Versuche hier noch wieder bedeutend schwieriger, so daß man also auch wohl dieser Erscheinung noch mit einigem Zweifel gegenüber stehen darf.

Alles in allem kann man also auch heute noch sagen, daß bisher keine Tatsache vorliegt, welche eine sichere Entscheidung zwischen den beiden hauptsächlich in Frage kommenden Theorien der Röntgenstrahlen, der korpuskularen und der Äthertheorie, zu treffen gestattet, und so bleibt also nichts übrig, als in dieser Beziehung die weitere Entwicklung der Wissenschaft abzuwarten.

---

2. Kapitel.

Verhalten der Röntgenröhre im Betriebe. Regulierung und Erneuerung ihres Gasinhaltes.

Eine der wichtigsten Aufgaben für den Röntgenologen — bei jeder Benutzungsweise der Röntgenröhre — besteht darin, die Härte der letzteren dauernd konstant zu halten; denn die Beschaffenheit sowohl des röntgenographischen wie des röntgenoskopischen Bildes hängt weitaus in erster Linie von dem Härtezustand der dabei benutzten Röntgenröhre ab, und auch selbst bei der therapeutischen Verwendung der Strahlen ist die Härte der Röhre, wie wir in Kapitel 4 sehen werden, von nicht unwesentlicher Bedeutung. Auch würde, wenn beispielsweise bei einer angefangenen röntgenographischen

Aufnahme die Härte der Röhre schon beträchtlich vor Ablauf der erforderlichen Expositionszeit plötzlich um mehrere Grade (s. Kapitel 3) weicher werden sollte — wie dies leicht passieren kann —, die betreffende photographische Platte verloren sein; denn eine Fortsetzung der Aufnahme mit einer solchen weich gewordenen Röhre würde wegen des geringeren Durchdringungsvermögens ihrer jetzigen Strahlung selbst in der zehnfachen der sonst erforderlichen Expositionszeit doch noch kein gutes Bild ergeben.

Unter- und Überbelastung der Röhre

Der Röntgenologe hat deshalb vor allem darauf zu achten, daß ihm die Röhre nicht vor der Zeit weich wird, eine Aufgabe, die gleichbedeutend mit der ist, eine Überlastung der Röhre zu vermeiden, d. h. keinen zu starken Strom durch sie hindurchzuschicken. Durch eine solche zu starke Belastung der Röhre werden nämlich gewisse Teile in ihrem Innern, d. h. vor allem ihre Antikathode und die phosphoreszierenden Teile ihrer Glaswand — durch die primären bzw. sekundären Kathodenstrahlen (s. Kapitel 1) — zu stark erwärmt, so daß dann aus deren inneren Oberflächen Gasreste herausgetrieben werden, die eine Erhöhung des Luftdruckes in der Röhre und somit eben ein geringeres Durchdringungsvermögen der in ihr entstehenden Röntgenstrahlung bewirken.

Die Überlastung der Röhre ist nun aber nicht etwa einfach in der Weise zu vermeiden, daß man sie von vornherein unterbelastet; denn eine solche, zu schwach beanspruchte Röhre zeigt wieder andere Fehler — und zwar zunächst natürlich den, daß man mit ihr unnötig lange zu exponieren hat; vor allem aber auch den, daß dieselbe — auch selbst bei genügend langer Belichtung — meist keine gut durchgearbeiteten Bilder gibt. Es liegt dies daran, daß in einer solchen unterbelasteten Röhre eine fortwährende Veränderung des Härtegrades stattfindet, was sich nicht bloß durch ein Flackern des Phosphoreszenzlichtes der Glaswand der Röhre selbst, sondern auch durch ein fortwährendes Auf- und Abspringen ihres Härtegrades in den in Kapitel 3 zu beschreibenden Härteskalen bemerkbar macht, so daß man daher mit einer solchen Skala die Unterbelastung der Röhre auch schon dann erkennen kann, wenn man die letztere selbst überhaupt nicht sieht.

Andererseits gewährt aber eine solche Skala bei richtiger Benutzung zugleich auch die Möglichkeit, die Überbelastung der Röhre noch rechtzeitig zu erkennen; und dieser Umstand ist um so wichtiger, als man diesen Fehler, der ja nach dem Obigen noch schlimmer ist als die Unterbelastung, aus dem direkten Aussehen der Röhre überhaupt nicht erkennen kann. Denn wenn es auch sehr richtig heißt, daß eine richtig belastete Röhre ein schönes

ruhiges Phosphoreszenzlicht zeigt und also nicht wie die unterbelastete Röhre flackert, so gilt das erstere doch auch ebensogut für eine überbelastete Röhre; und das erwähnte Kriterium ist daher zur Erkennung der Überlastung nicht zu benutzen. Vielmehr bleiben zu diesem Zwecke nur zwei Wege übrig: einesteils nämlich der, sich auf vorhergehende Versuche zu verlassen, d. h. sich die dabei benutzte Schaltung des Betriebsapparates zu merken, und anderenteils der, die Röhre nach ihrer Einschaltung unaufhörlich mit einer Härteskala zu überwachen und dann, sobald man die geringste dauernde Verminderung ihres Härtegrades beobachtet, sofort mit der Belastung herabzugehen. Wegen der großen Wichtigkeit der Aufgabe wird man natürlich stets beide Wege zu Rate ziehen, zumal da der erstere allein — wegen des veränderlichen Charakters der Röhre, worauf wir sogleich näher eingehen werden —, nicht immer zuverlässig ist. Darum betonen denn auch sämtliche gewissenhaft arbeitenden Röntgenologen immer wieder aufs neue die Notwendigkeit der fortwährenden Überwachung der Härte der Röhre — und zwar nicht bloß für röntgenographisches Arbeiten, sondern auch für therapeutische Bestrahlung; denn auch in diesem Falle ändert sich die Wirkung der Strahlung nicht unerheblich, wenn die Härte der Röhre eine andere wird. Näheres s. in Kap. 4.

Diese unaufhörliche Überwachung der Röhrenhärte ist aber drittens auch bei röntgenoskopischen Arbeiten erforderlich; denn auch der Leuchtschirm zeigt selbstverständlich nur dann ein Bild von maximaler Güte, wenn die Härte der Röhre dem Absorptionsvermögen des zu untersuchenden Organes angepaßt ist, und es darf auch in diesem Falle die Röhre weder unter- noch überbelastet sein, wenn das Bild dauernd jene maximale Güte beibehalten soll. Die Überwachung der Röhrenhärte kann aber in diesem Falle natürlich nicht mehr durch den Beobachter selbst geschehen, sondern es ist dazu ein Gehilfe nötig, der mit der Härteskala und der Regulierung der stromerzeugenden Apparate genügend vertraut sein muß.

Veränderlichkeit des Härtegrades

Was nun aber die Ursachen der leichten Veränderlichkeit des Härtegrades einer Röntgenröhre anbetrifft, so sind dieselben einesteils, wie schon gesagt, darin zu suchen, daß die inneren Oberflächen des Glases und der Elektroden der Röhre stets noch ein wenig Luft oder auch andere Gase im sogenannten „okkludierten“ oder auch „adsorbierten“ Zustande enthalten, d. h. in einer derartigen Weise, daß bei Erwärmung der betreffenden Flächen ein gewisser Teil dieser Gase abgegeben wird, um später — nach dem Erkalten der Flächen — allmählich wieder gebunden zu werden. Andernteils rührt jene Veränderlichkeit der Röntgenröhre aber

auch daher, daß die in derselben noch enthaltenen, ja sowieso nur sehr spärlichen Gasreste durch den, durch die Röhre hindurchgesandten und zur Erzeugung der Röntgenstrahlen dienenden Strom allmählich aufgebraucht werden.

Um nun zunächst die erste der genannten beiden Ursachen noch etwas näher ins Auge zu fassen, so ist in dieser Hinsicht zu beachten, daß schon beim Leerpumpen einer Röntgenröhre nicht bloß ein elektrischer Strom von passender Stärke andauernd durch sie hindurchgeschickt wird, sondern daß dieselbe dabei außerdem auch von außen her durch eine passende Heizvorrichtung ziemlich stark erhitzt wird. Der Zweck dieser Maßregeln ist eben vor allem der: die an den Oberflächen der Elektroden und der Glaswand der Röhre haftenden Gase durch diese Erhitzung herauszutreiben, um sie beim Pumpen zugleich mit dem ursprünglichen Luftinhalt zu entfernen. Natürlich werden bei dieser Erhitzung vor allem diejenigen Teile der Röhre in Frage kommen, die sich später beim Betriebe derselben stärker erhitzen, d. h. also vor allem die Antikathode und dann auch die phosphoreszierenden Teile der Glaswand der Röhre, die ja im Betriebe durch die sekundären Kathodenstrahlen ebenfalls jedesmal sehr stark erwärmt werden. Alle diese Erhitzungen finden nun aber bei der beschriebenen Art des Leerpumpens der Röhre auch schon durch den dabei durch sie hindurchgeschickten Strom statt, so daß die letztere also gewissermaßen schon an der Pumpe für den späteren Betrieb vorbereitet wird.

Wenn dann die Röhre von der Pumpe abgeschmolzen ist, und ihre beim Pumpen erwärmten Teile allmählich erkalten, so werden dieselben nach und nach auch wieder einen Teil der noch im Innern der Röhre gebliebenen Gasreste an sich reißen, so daß daher dieselbe, wenn sie nach längerer Liegezeit wieder in Gebrauch genommen wird, zunächst natürlich erheblich härter erscheinen muß als beim Abschmelzen, nach und nach aber — in dem Maße wie der hindurchgeschickte Strom die inneren Teile der Röhre wieder erwärmt — wieder weicher werden muß; und dieselben Vorgänge werden sich auch nach dem jedesmaligen Gebrauch der Röhre in ähnlicher Weise wiederholen.

Diese, durch die im Innern der Röhre gebundenen Gasreste bedingte Veränderlichkeit des Härtegrades derselben wird nun aber offenbar um so größer sein, 1. je größer die Unterschiede der Temperaturen der betreffenden Teile — im Betriebe einerseits und beim ruhigen Liegen andererseits — sind; und 2. je größer die Oberflächen der in Frage kommenden inneren Teile sind.

Verschiedene Formen der Antikathode

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkte aus zunächst die verschiedenen Formen der Antikathode, d. h. denjenigen Teil der

Röhre, der im Betriebe am meisten Wärme aufzunehmen hat, und daher sehr viel zur Veränderlichheit des Härtegrades der Röhre beiträgt, so wird zunächst von den lediglich aus Metall bestehenden Antikathoden diejenige am günstigsten sein, deren Oberfläche im Vergleich zu ihrer Wärmekapazität möglich klein ist, denn je kleiner die erstere, um so weniger Gas wird von der Antikathode abgegeben resp. gebunden, und in demselben Sinne wirkt natürlich auch die Vergrößerung der Wärmekapazität, d. h. des Produktes aus Gewicht und spezifischer Wärme; denn die Erwärmung der Antikathode wird natürlich im umgekehrten Verhältnis zu dieser Größe stehen.

Was nun zunächst die Verkleinerung der Oberfläche anbetrifft, so wächst bei einem massiven Körper bekanntlich das Volumen und also auch das Gewicht mit der Größe schneller als die Oberfläche, so daß also eine massive Antikathode günstiger wirken muß als eine solche mit Rippen oder röhrenförmigen Ansätzen, die ja die Oberfläche stark vergrößern, ohne die Wärmekapazität beträchtlich zu vermehren. Am günstigsten aber liegen die Verhältnisse in dieser Beziehung offenbar für diejenigen Antikathoden, deren Röhren durch Wasser gekühlt sind, da hier — wegen der großen spezifischen Wärme des Wassers, die etwa zehnmal so groß ist wie die Eisens oder Kupfers — einesteils eine sehr große Wärmekapazität der Antikathode bei verhältnismäßig kleiner innerer Oberfläche und relativ sehr kleinem Gewicht erzielt wird, und andernteils vor allem der größte Teil der von den Kathodenstrahlen erzeugten Wärme durch die Strömung des Antikathodenwassers in den oberen Teil des Antikathodengefäßes, d. h. also gewissermaßen nach außen hin abgeleitet wird. Aus allen diesen Gründen steigt daher die Temperatur der Antikathode einer Wasserkühlröhre nach Einschaltung des Stromes sehr viel langsamer als bei anderen Antikathoden, und daher wird auch die erstere hierbei sehr viel weniger Gas entbinden als diese letzteren, und also die Röhre selbst im Betriebe nicht so leicht weich werden wie diese.

Bei längerem Einschalten wird allerdings auch die Wasserkühlröhre in dem Maße, wie die Temperatur des Antikathodenwassers steigt, allmählich etwas weicher; man kann jedoch dieselbe, wie zuerst von Albers-Schönberg gezeigt wurde und auch in der Praxis ausgiebig benutzt wird, einfach dadurch wieder auf den früheren Härtegrad zurückführen, daß man das heiße Antikathodenwasser durch kaltes ersetzt. Hinsichtlich der dabei benutzten Methode und Vorsichtsmaßregeln siehe man den zweiten Teil dieses Buches. Erwähnt mag hier jedoch noch werden, daß man die Härtung der Röhre in diesem Falle auch dadurch erreichen kann, dass man nach

einander mehrere lange, mit kaltem Wasser gefüllte Metallzylinder bis auf den Grund des Antikathodenwassers führt, um so die Wärme desselben gewissermaßen stückweise mit fortzunehmen.

Große und kleine Röhren

Was sodann noch die phosphoreszierenden Teile der Glaswand der Röhre angeht, die sich ja im Betriebe ebenfalls sehr stark erwärmen und daher gleichfalls zur Veränderlichkeit des Härtegrades der Röhre beitragen, so besteht in dieser Hinsicht kein sehr großer Unterschied zwischen den verschiedenen Röhren; denn wenn sich auch z. B. bei den größeren Röhren die Glaswand naturgemäß viel schwächer erwärmt als bei den kleineren, so ist dafür bei ersteren auch wieder die sich erwärmende Oberfläche um so größer. Immerhin wird aber doch aus einem andern Grunde die größere Röhre im Betriebe stets auch die kleinere Veränderlichkeit der Härte zeigen; nämlich offenbar deshalb, weil das Volumen derselben ein so außerordentlich viel größeres ist, und daher die durch den Betrieb aus ihren inneren Teilen entwickelten Gase im Vergleich zu dem schon vorhandenen Luftinhalte viel weniger in Betracht kommen. Dieser Luftinhalt hängt nämlich vorwiegend von dem Durchmesser der Kugel der Röhre ab, und zwar wächst er bekanntlich mit der dritten Potenz dieser Größe, so daß also die Zunahme selbst für eine verhältnismäßig kleine Vermehrung des Durchmessers schon eine ganz beträchtliche ist. Für einen Kugeldurchmesser von bzw. 12, 14, 16, 18 und 20 cm beträgt nämlich das Volumen der Kugel bzw. 0,9, 1,24, 2,14, 3,05 und 4,18 Liter, so daß also z. B. eine Röhre von 20 cm Kugeldurchmesser schon über viermal soviel Luft enthält als eine solche von 12 cm. Natürlich ist aber auch die Gewalt der Explosion bei Zertrümmerung der größeren Röhre entsprechend größer.

Die von den inneren Oberflächen der Röhre okkludierten Gasteilchen kann man sich übrigens auch in der Weise zu nutze machen, daß man z. B. eine alte Röhre, die beim Einschalten des Stromes nicht mehr ansprechen will, dadurch gefügiger machen kann, daß man sie vorher stark erhitzt, wobei man aber bedenken muß, daß das Glas, wenn es nicht springen soll, möglichst gleichmäßig angewärmt werden muß. Am besten benutzt man daher zu diesem Zwecke einen sogenannten Luftofen, wie er z. B. in der Bakteriologie für Brutversuche und dergleichen verwandt wird. Die Röhre wird nach Entfernung etwaiger Gummiteile in den noch kalten Ofen hineingelegt und dann der letztere angeheizt. Sie muß dann nach Albers-Schönberg bei 200° Ofentemperatur je nach ihrem Alter etwa $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde im Ofen bleiben; und es läßt sich dadurch die Erniedrigung ihres Härtegrades soweit treiben, daß man z. B. mit einer Röhre, die so hart war, daß die Funken außen herumschlugen,

jetzt tiefschwarze Handknochenbilder erhält. Allerdings werden die Röhren sehr schnell wieder hart — offenbar, weil das Gas von den Wänden, aus denen es stammt, nach deren Erkalten allmählich wieder angezogen wird —, so daß man daher auch nicht so sicher mit ihnen arbeitet wie mit einer Röhre, deren zu große Härte man durch Gaszufuhr von seiten einer sogenannten Vorrichtung zur Erneuerung des Gasinhaltes vermindert hat, wie sie an jeder besseren Röntgenröhre angebracht ist.

Aufarbeitung des Gasinhaltes der Röhre durch den Stromdurchgang

Eine solche Vorrichtung ist nämlich für diese Röhre deswegen nötig, weil der ursprüngliche Luftinhalt der letzteren, wie schon oben erwähnt wurde, durch den die Röntgenstrahlen erzeugenden Strom selbst allmählich aufgebraucht wird. In welcher Weise dies geschieht, ist allerdings noch nicht ganz klargestellt; denn man weiß zwar, daß die Erscheinung in erhöhtem Maße auftritt, wenn durch fehlerhafte Behandlung oder auch falsche Bauart der Röhre in derselben eine stärkere Zerstäubung des Metalles ihres Elektroden stattfindet, ein Vorgang, auf den wir weiter unten noch näher eingehen werden; andererseits tritt das allmähliche Verschwinden des Gasinhaltes aber auch bei Röhren auf, die selbst nach längerem Betriebe noch keinen Metallniederschlag in ihrem Innern erkennen lassen. Dieselben sind dann zwar in der im Betriebe phosphoreszierenden Hälfte ihrer Glaswand durch die bereits hier hindurchgegangene große Röntgenstrahlenmenge stark violett gefärbt (s. S. 17); nichtsdestoweniger ist aber ein Niederschlag von Metall auf ihrer Innenwand nicht zu erkennen, so daß also ein solcher hier kaum als Ursache des Verschwindens des Gasinhaltes der Röhre angenommen werden kann, und es demnach doch sehr wahrscheinlich ist, daß der Strom selbst das Gas zersetzt, ähnlich wie er ja auch bei der gewöhnlichen Elektrolyse den leitenden Stoff in einen elektropositiven und einen elektronegativen Bestandteil zerlegt. Hieraus scheint dann aber weiter zu folgen, daß das Gas in einer Röntgenröhre, wenn es überhaupt den elektrischen Strom leiten soll, nicht aus einem elementaren Gase, wie z. B. Wasserstoff oder Stickstoff bestehen darf, sondern entweder aus einer Mischung zweier Gase oder noch besser aus einem zusammengesetzten Gase oder Dampfe, wie Kohlensäure oder Wasserdampf, bestehen muß, eine Folgerung, für die auch noch eine andere, später zu erwähnende Erscheinung spricht.

Auch das oben erwähnte Flackern einer eben in Betrieb genommenen, aber nicht genügend belasteten Röntgenröhre ist vielleicht so zu erklären, daß dann der Gasinhalt der Röhre durch den hindurchgeschickten Strom zu schnell aufgearbeitet wird, ohne einen genügenden Ersatz durch die aus den inneren Oberflächen

durch Erwärmung freigemachten Gase zu finden. Bei einer von vornherein genügend belasteten Röhre dagegen wird das allmähliche Aufarbeiten des Gases durch den Strom von den durch die stärkere Erwärmung der Röhre in derselben freigemachten Gasen gerade aufgewogen und bei einer überlasteten Röhre sogar dermaßen überdeckt, daß dieselbe im Betriebe zunächst nicht härter, sondern weicher wird.

Läßt man ferner eine richtig belastete Röhre so lange im Betriebe, bis die Erwärmung ihres Innern nicht mehr zunimmt sondern sich auf einer konstanten Höhe erhält, so zeigt sich bei weiterem Betriebe bald eine Neigung der Röhre zum Härterwerden, so daß man also dieselbe, um ihr neue Gaszufuhr zu schaffen, entweder stärker belasten muß — um sie eben dadurch noch stärker zu erhitzen und so noch mehr Gase aus ihrem Innern frei zu machen — oder aber ihre Reguliervorrichtung in Anspruch nehmen muß. Das erstere ist natürlich, wenn man nicht die Röhre und auch das übrige Instrumentarium gefährden will, nur bis zu einem gewissen Grade möglich, so daß also die Reguliervorrichtung doch immer den sichersten Weg der Gaszufuhr darstellt.

Das Verschwinden des Gasinhaltes einer Röntgenröhre macht sich ferner aber auch bei Röhren bemerkbar, die täglich nur auf kurze Zeit in Anspruch genommen werden, — allerdings nicht schon an dem betreffenden Tage selbst, sondern erst am nächsten, insofern nämlich dann die Röhre beim ersten Einschalten des Stromes etwas härter ist als am Tage vorher in dem entsprechenden Augenblick, oder also ihr Gasinhalt kleiner geworden ist. Dieser Vorgang wiederholt sich ferner bei weiterer täglicher Benutzung von Tag zu Tag, so daß also die Röhre immer härter und schließlich, wenn nicht Ersatz ihres Luftinhaltes geschaffen wird, so hart wird, daß die Entladungen der Elektrizitätsquelle außen an ihrer Glaswand herumschlagen.

Es sei jedoch schon hier erwähnt, daß man gelegentlich auch wohl einmal eine Röhre findet, bei der selbst bei täglicher Benutzung ein solches von Tag zu Tag fortschreitendes Härterwerden nicht zu bemerken ist, daß dies aber dann entweder daran liegt, daß sie einen ganz kleinen Sprung hat, durch welchen gerade soviel Luft in sie eintritt, wie vom Strome aufgebraucht wurde, oder aber auch daran, daß ihre Vorrichtung zur Erneuerung des Gasinhaltes gerade eine solche Gasmenge abgegeben hat, was nämlich bei gewissen Vorrichtungen dieser Art vorkommt. Beide Möglichkeiten erkennt man natürlich dadurch, daß die Röhre bei längerer Nichtbeanspruchung durch die fortdauernde Gaszufuhr allmählich immer weicher und weicher wird.

Metallzerstäubung in der Röntgenröhre

Das Verschwinden des Gasinhaltes der Röhre kann nun aber — außer durch normales Aufarbeiten desselben durch den elektrischen Strom — auch noch dadurch bewirkt werden, daß durch falschen Betrieb oder fehlerhafte Bauart der Röhre in ihr allmählich eine Metallzerstäubung stattfindet. Die Richtigkeit dieses Satzes wird sehr einfach dadurch bewiesen, daß man diese Wirkung der Metallzerstäubung sogar absichtlich dazu benutzt, um eine im Gebrauche zu weich gewordene Röhre schnell wieder härter zu machen, wie am Schlusse dieses Kapitels näher dargelegt werden wird. Demnach ist es für den Röntgenologen eine der wichtigsten Aufgaben, seine Röhre so zu betreiben, daß sie selbst nach starker Inanspruchnahme in ihrem Innern nur eine kaum sichtbare Metallhaut aufweist; und derselbe kann deshalb, wie schon im ersten Kapitel gesagt wurde, mit nicht unberechtigtem Stolze auf eine Röhre blicken, deren tief violette, durch bereits geleistete Röntgenstrahlung verursachte Glasfärbung nicht durch eine in ihrem Innern niedergeschlagene Metallhaut getrübt wird.

Demnach erscheint es notwendig, hier nicht bloß auf die Ursache jener Metallzerstäubung, sondern auch auf die Mittel zu ihrer Vermeidung etwas näher einzugehen. Diese Zerstäubung tritt nun in einer Vakuumröhre so gut wie ausschließlich an derjenigen Elektrode auf, welche mit dem negativen Pole der die Röhre mit Strom versorgenden Elektrizitätsquelle verbunden ist, so daß sie also in einer normal betriebenen Röntgenröhre nur die Kathode betrifft, die deswegen auch stets aus Aluminium gemacht wird, einem Metalle, das nämlich von allen hier in Betracht kommenden Stoffen weitaus am wenigsten zerstäubt wird.

Die Antikathode der Röhre dagegen muß sowohl der größeren Röntgenstrahlenausbeute als auch der größeren Widerstandskraft wegen aus einem anderen Metall verfertigt werden, und zwar benutzt man hierfür in der Regel ein größeres, vorne mit einer dünnen Schicht Platin überzogenes Stück Eisen, Nickel oder Kupfer. Von diesen Metallen zerstäuben nun aber besonders das Kupfer und das Platin ziemlich stark, wenn sie als Kathode in einer Vakuumröhre benutzt werden; immerhin braucht aber deshalb dieser Vorgang bei einer richtig betriebenen Röntgenröhre gar nicht einzutreten, denn in dieser ist ja die Antikathode nicht mit dem negativen sondern mit dem positiven Pole der Elektrizitätsquelle verbunden. Eine solche Zerstäubung wird sich hier jedoch sofort zeigen, wenn aus irgendeinem Grunde verkehrt gerichteter Strom durch die Röhre geht, d. h. ein Strom, für welchen die Antikathode zur Kathode der Röhre wird; denn dann sind ja die elektrischen Vorbedingungen der Zerstäubung vorhanden. Ein

solcher Strom tritt nun aber — aus Gründen, die in Kapitel 7 darzulegen sind, — neben dem richtig gerichteten Strom besonders leicht dann auf, wenn man zum Betriebe der Röhre einen Induktionsapparat benutzt, und zwar wird er in diesem Falle als Schließungsstrom bezeichnet. Hinsichtlich der Begründung dieses Namens und der Maßregeln zur Vermeidung solcher Ströme ist ebenfalls auf die genannte Stelle zu verweisen; hier dagegen mögen bereits die Mittel angegeben werden, durch welche man das Auftreten dieser, die Lebensdauer der Röhre ganz außerordentlich abkürzenden und daher für sie überaus schädlichen Ströme erkennt, und ferner auch noch ein besonderer Apparat, durch welchen man sie, wenn alle andern Mittel versagen, in sehr wirksamer Weise bekämpfen kann.

Erkennung der verkehrten Ströme in der Röntgenröhre

Zur Erkennung der verkehrt gerichteten Ströme kann man nun bis zu einem gewissen Grade auch schon das Aussehen der Röntgenröhre selbst benutzen, da nämlich in dem Falle, wo ihre Antikathode zur Kathode wird, von ihren frei liegenden Flächen — und dazu gehört natürlich in erster Linie ihre vordere, zum Auffangen des normalen Kathodenstrahlenbündels der Röhre dienende Ebene — besondere Kathodenstrahlen ausgehen, die in der Regel auf den von ihnen getroffenen Teilen der Glaswand der Röhre Phosphoreszenzerscheinungen in Form von Flecken und Ringen hervorrufen. Über das Aussehen der letzteren erhält man am einfachsten Auskunft, wenn man den Strom auf einen Augenblick absichtlich in verkehrter Richtung durch die Röhre gehen läßt, wobei man ihn aber zuvor beträchtlich abschwächen muß, um nicht durch das dabei von der Vorderfläche der Antikathode senkrecht zu derselben austretende Kathodenstrahlenbündel die gegenüberliegenden Teile der Glaswand (in den Figg. 2 und 3 S. 6 bei N) durchzuschmelzen. Kehrt man dann die Stromrichtung wieder um und beobachtet auch dann noch die gleiche Flecken- und Ringbildung wie zuvor, so ist dies ein Beweis dafür, daß der verkehrt gerichtete Strom noch in ziemlich starkem Grade in der Röhre vorhanden ist, und man hat also dann die Schaltung seines Instrumentariums zu ändern.

In viel feinerer Weise jedoch, als durch das Aussehen der

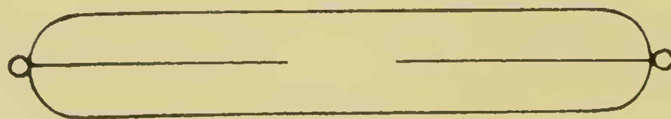


Fig. 20.

Röntgenröhre selbst, läßt sich etwaiger, die letztere durchsetzender, verkehrt gerichteter Strom durch eine sogenannte Glimmlichtröhre erkennen, die in Fig. 20 abgebildet ist und einfach aus einem geraden Glasrohr mit zwei längeren Elektroden aus Alu-

miniumdraht besteht. Dieselbe ist bis auf etwa $^1/_{400}$ des gewöhnlichen Luftdruckes leer gepumpt, so daß der hindurchgehende Strom an derjenigen ihrer beiden Elektroden, welche für ihn die Kathode, d. h. den negativen Pol, darstellt, das sogen. *negative Glimmlicht* erzeugt, welches diese Elektrode in Form eines etwa 2 mm breiten, violetten Schimmers umgibt. Dasselbe fängt in unserem Falle von dem mittleren Ende des betreffenden Drahtes an und hüllt diesen auf eine um so längere Strecke ein, je größer die Stärke des Stromes in dem betreffenden Momente ist.

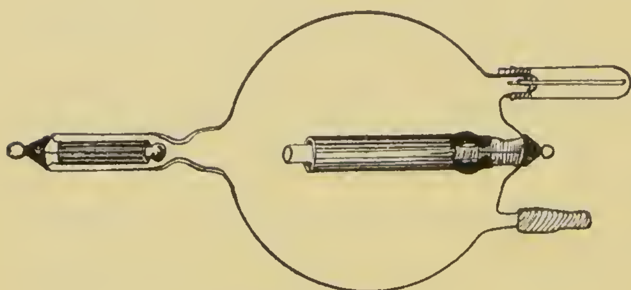
Schaltet man also eine solche Röhre irgendwo in den zur Röntgenröhre führenden Stromkreis ein, so sieht man in ersterer, wenn in diesem Kreise nur richtig gerichtete Ströme oder Stromstöße vorhanden sind, jenes Glimmlicht auch nur an der *einen* ihrer beiden Drahtelektroden auftreten, während die andere vollständig frei davon bleibt. Bei gleichzeitigem Vorhandensein von richtig und verkehrt gerichteten Stromstößen dagegen tritt das Glimmlicht auch an der anderen Elektrode auf, und zwar wird diese dann davon auf eine um so längere Strecke umhüllt, je stärker der verkehrte Strom in dem Stromkreise ist. Aus der Länge jenes verkehrten Lichtes kann man daher bis zu einem gewissen Grade auf die Stärke dieses Stromes schließen; ein genaues Messen von Stromstärken ist freilich mit dieser Röhre ohne Benutzung weiterer Hilfsmittel nicht möglich; denn dieselbe zeigt bei einfacher Betrachtung nur die Maximalwerte der sie in den beiderseitigen Richtungen durchsetzenden Stromstöße nicht aber ihre Dauer und ihre Häufigkeit an, zwei Momente, welche, wie wir in Kapitel 4 sehen werden, für die Messung solcher Stromstöße von nicht minder ausschlaggebender Bedeutung sind wie jene.

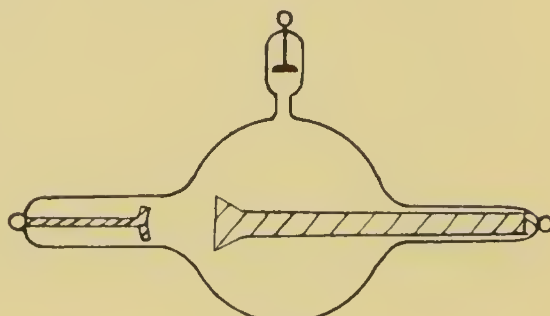
Die Glimmlichtröhre kommt daher für uns nur als *Anzeiger* des verkehrt gerichteten Stromes in Betracht; diesem Zwecke dient sie aber auch in einer so ausgezeichneten Weise, daß sie in keinem Röntgenlaboratorium fehlen sollte. Dabei ist es nicht aber etwa notwendig, dieselbe stets mit in den Stromkreis der Röntgenröhre einzuschalten — denn das würde eine unnütze Aufarbeitung ihres Gasinhaltes bedeuten —; vielmehr genügt es, die Röhre vor Beginn der eigentlichen Exposition probeweise in den Stromkreis der Röntgenröhre einzufügen, um sich nämlich nur davon zu überzeugen, ob in demselben verkehrt gerichteter Strom vorhanden ist oder nicht.

Beseitigung der verkehrten Ströme aus der Röntgenröhre

Was sodann die *Beseitigung* dieser verkehrt gerichteten Stromstöße angeht, die zumal bei Induktorbetrieb leicht neben den richtig gerichteten Stößen durch die Röntgenröhre gehen, so können die auf die Schaltung dieser Hochspannungsapparate beruhenden

Maßregeln natürlich erst bei der Besprechung dieser Instrumente (in Kapitel 7) behandelt werden; immerhin möge schon hier ein Apparat beschrieben werden, der unter allen Umständen dem in Rede stehenden Zwecke dienen kann, der aber doch, wie wir sogleich sehen werden, immer nur dann in Frage kommt, wenn alle anderen


Fig. 21.


Fig. 22.

Mittel versagen oder nicht ausreichend sind. Dieser Apparat ist die sogen. Drossel- oder Ventilröhre. Dieselbe wird gegenwärtig — in Deutschland wenigstens — hauptsächlich in den beiden in den Figg. 21 und 22 dargestellten Formen hergestellt, die im großen und ganzen ziemlich gleichwertig sein dürften, da es nämlich hierbei nur darauf ankommt, daß die eine der beiden Elektroden — ähnlich wie die Kathode einer gewöhnlichen Röntgenröhre — in

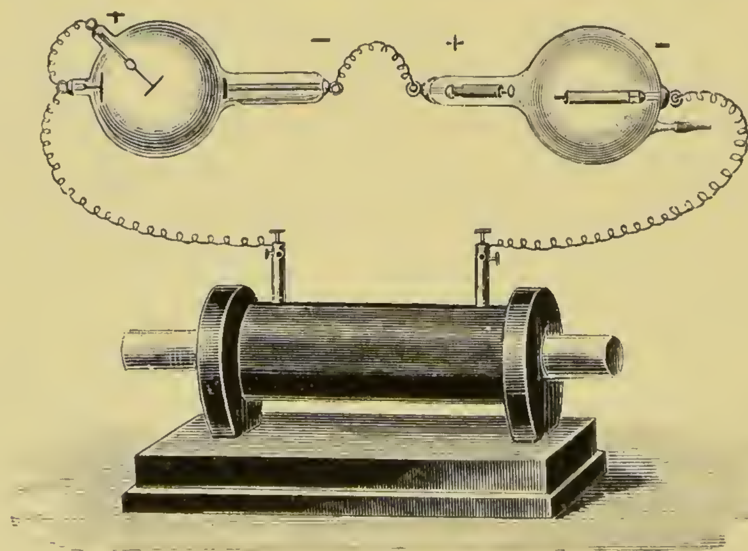


Fig. 23.

einem sie dicht umgebenden Glasrohre steckt, während an der anderen vor allen Dingen Flächenteile von größerer Ausdehnung vorhanden sein müssen, die von der Glaswand möglichst weit entfernt liegen.

Diese Bauart der Röhre hat nämlich zur Folge, daß sie für solche Ströme, für welche die erstgenannte Elektrode zur Kathode, d. h. zum negativen Pol, wird, nahezu undurchlässig, für solche von umgekehrter Richtung dagegen außerordentlich leicht durchlässig ist, so daß man daher die in verkehrter Richtung in

die Röntgenröhre eintreten wollenden Stromstöße einfach dadurch unterdrücken kann, daß man eine dieser Drosselröhren nach Art der Fig. 23 in den Stromkreis der Röntgenröhre einschaltet, wobei man sich die richtige Schaltung der ersteren am besten so merkt, daß bei ihr die eingeschnürte und die frei liegende Elektrode grade in umgekehrter Richtung im Stromkreise liegen müssen wie bei der Röntgenröhre selbst; und zwar stellt in dieser, wie der unmittelbare Augenschein lehrt, die Kathode die eingeschnürte und die Antikathode die freiliegende Elektrode dar. Bei der richtigen Schaltung der Drosselröhre hindert nämlich diese den Durchtritt der richtig gerichteten Stromstöße durch die Röntgenröhre nicht, da ja für diese die in der Figur angegebenen Polaritätsbezeichnungen gelten, und mithin die frei liegende Elektrode der Drosselröhre zur Kathode derselben wird. Die Polarität der für die Röntgenröhre verkehrt gerichteten Stromstöße ist dagegen die umgekehrte wie die in der Figur angegebene, so daß also für diese die eingeschlossene Elektrode der Ventilröhre zur Kathode werden würde, und daher diese Stromstöße nach dem Obigen nur äußerst schwer zustande kommen. Zum Beweise hierfür benutzt man natürlich wieder am besten die obenbeschriebene Glimmlichtröhre, die zu diesem Zwecke als drittes Vakuumrohr in den in Fig. 23 gezeichneten Stromkreis eingeschaltet wird, und deren eine Elektrode dann vollständig frei von Glimmlicht sein muß.

Die Drosselröhren müssen, wenn die Beseitigung der verkehrt gerichteten Stromstöße nicht schon durch die Schaltung des zum Betriebe der Röntgenröhre dienenden Hochspannungsapparates zu erreichen ist, natürlich dauernd im Stromkreise der Röhre eingeschaltet bleiben, so daß daher auch ihr Gasinhalt ebenso wie der der Röntgenröhre selbst allmählich durch den Strom aufgearbeitet wird. Auch für diese Röhren sind daher besondere Vorrichtungen zur Erneuerung des Gasinhaltes notwendig, wie man sie auch in den Figg. 21 und 22 in kleinen, an der Kugel sitzenden Nebenröhren angebracht sieht. Dieselben sind in der Regel von derselben Art, wie die von der betreffenden Firma auch bei ihren Röntgenröhren benutzten Regeneriervorrichtungen, zu deren spezieller Beschreibung wir jetzt übergehen.

Erneuerung des Gasinhaltes der Röhre

Die wichtigste Aufgabe dieser Vorrichtungen, die übrigens gleichzeitig auch zum Weichermachen der betr. Röhren dienen können und daher gewöhnlich unter die Vorrichtungen zur Regulierung des Härtegrades gerechnet werden, besteht in der Regenerierung, d. h. der Erneuerung des Gasinhaltes der Röhre; denn ohne eine solche würde eine viel gebrauchte Röntgenröhre sehr bald so hart werden, daß überhaupt kein Strom mehr

hindurchzubringen ist. Der nächstliegende Gedanke in diesem Falle ist nun der, das erforderliche Gas einfach von der äußeren Atmosphäre her durch einen an der Röhre angebrachten Glashahn oder dergleichen zuzuführen. Hierbei tritt jedoch die Schwierigkeit auf, daß ein solcher Hahn, wenn er dauernd luftdicht schließen soll, eines Schmiermittels bedarf, und daß das letztere wieder allmählich in das Vakuum verdunstet, so daß dadurch die Aufrechterhaltung der hohen in einer Röntgenröhre nötigen Luftverdünnung unmöglich gemacht wird. Tatsächlich sind denn auch die schon mehrfach mit großer Begeisterung angekündigten Röhren dieser Art stets wieder aus dem Handel verschwunden. Eine andere neuerdings angegebene Methode der Luftzufuhr von außen her verwendet zu diesem Zwecke ein poröses, luftdurchlässiges Material, das in ein kleines, an die Hauptröhre angeschmolzenes Röhrchen eingekittet ist und von außen her für gewöhnlich durch eine in dem Röhrchen befindliche, bewegliche Quecksilbersäule verschlossen gehalten wird. Die letztere kann aber durch einen Druck auf eine Gummiplatte zeitweilig beiseite gedrückt werden, worauf dann die Außenluft durch die Poren des Plättchens in die Hauptröhre eindringt. Auch diese Vorrichtung dürfte jedoch das Vakuum der letzteren mit der Zeit von selbst verderben, da es nicht bloß den Dämpfen derjenigen Substanz ausgesetzt ist, mit welcher das poröse Plättchen in die Glaswand der Röhre eingekittet ist, sondern vor allem auch den Dämpfen des das Plättchen von außen her verschließenden Quecksilbers. Man kann nämlich nicht etwa sagen, daß der Quecksilberdampf das Arbeiten einer Röntgenröhre nicht beeinträchtigen könne, weil ja jede solche Röhre mit einer Quecksilberluftpumpe leer gepumpt sei; denn bei dem Leerpumpen wird die Röhre, wie schon mehrfach erwähnt wurde, nicht bloß durch einen andauernd hindurchgeschickten Strom, sondern auch außerdem noch durch eine Heizvorrichtung von außen her erwärmt; und diese doppelte Erhitzung hat eben — außer dem bereits mehrfach erwähnten Zweck: die im Innern der Röhre okkludierten Gase zu entfernen — auch noch den: eine Kondensation des Quecksilberdampfes der Pumpe in der Röhre zu verhindern.

Regulierung durch Osmose

Kommen wir sodann zu denjenigen Regenerativvorrichtungen einer Röntgenröhre, welche sich bisher in der Praxis wirklich mehr oder weniger bewährt haben, so möge zunächst eine sehr sinnreiche, von Villard in Paris angegebene Methode beschrieben werden, bei der ebenfalls von außen her Gas in die Röhre eingeführt wird, wenn es sich auch in diesem Falle nicht um Luft, sondern um Wasserstoff handelt. Villard benutzte nämlich die bereits bekannte Eigenschaft dieses Gases durch glühendes

Platin hindurchzudiffundieren, eine Eigenschaft, die auf die große Geschwindigkeit der Moleküle dieses Gases zurückzuführen ist und deshalb in der Physik als „Osmose“ (von ὠσμός, der Stoß) bezeichnet wird, weswegen diese Regeneriermethode auch die osmotische heißt. Das Platin ist dabei gewöhnlich, wie die Fig. 24 zeigt, in Form eines kleinen Röhrchens in einen seitlichen Ansatz des Kathodenhalses der Hauptröhre eingeschmolzen und wird nun zwecks Gaszufuhr zur letzteren mit einer Spirituslampe oder einem Bunsenbrenner bis zum Glühen erhitzt, wobei natürlich das Schutzglas, welches für gewöhnlich über jenes Röhrchen geschoben und auch in Fig. 24 mitgezeichnet ist, vorher abgenommen werden muß. Sobald dann das Platin glühend geworden ist, tritt von dem in den genannten Flammen stets befindlichen Wasserstoff schon in einigen Sekunden soviel in die Röhre ein, daß die letztere dadurch merklich weicher geworden ist.

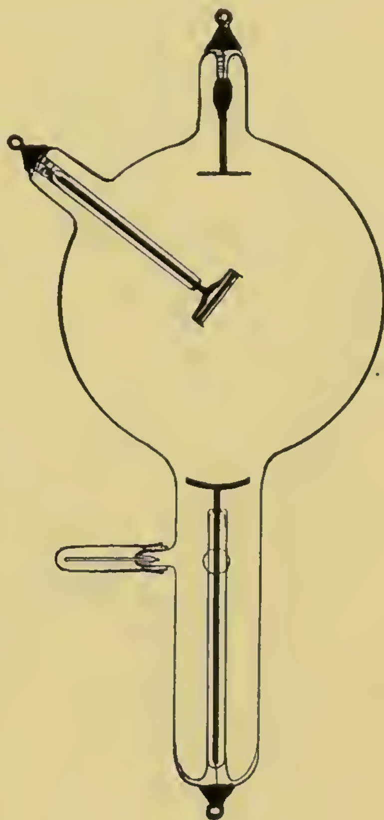


Fig. 24.

Abgesehen nun aber davon, daß diese Art der Regenerierung sich natürlich nicht zu einer automatisch wirkenden, d. h. zu einer solchen ausbilden läßt, welche immer dann von selbst einsetzt, wenn der Luftinhalt der Röhre anfängt knapp zu werden, so ist dieselbe auch noch aus einem andern Grunde wenig brauchbar. Eine auf diese Weise mit Wasserstoff beschickte Röhre zeigt nämlich, wenn sie durch den Gebrauch sehr hart geworden ist, die eigentümliche Erscheinung, daß sie trotz reichlicher Wasserstoffzufuhr doch nicht mehr richtig in Gang gebracht werden kann, da die Funken auch dann noch außen um sie herumschlagen, wenn in ihrem Innern schon blaues Licht auftritt. Hieraus folgt offenbar, daß der Wasserstoff allein zur Regenerierung einer Röntgenröhre nicht ausreichend ist; und tatsächlich scheint auch nach spektroskopischen Versuchen des Verfassers bei allen in der Praxis wirklich bewährten Vorrichtungen dieser Art das Ersatzmittel des im Innern der Röhre verbrauchten Gases nicht der Wasserstoff sondern entweder Wasserdampf oder Kohlensäure, d. h. also stets ein chemisch zusammengesetztes Gas in Frage zu kommen, wie dies ja oben auch schon aus anderen Gründen wahrscheinlich gemacht wurde (s. S. 75).

Bei diesen nunmehr noch zu beschreibenden Regeneriervor-

richtungen ist nämlich das fragliche Ersatzmittel stets in einem festen Körper enthalten, welcher sich im Innern der Röhre selbst befindet, und welcher das abzugebende Gas im okkludierten Zustande enthält, so daß er also nach Belieben einen bestimmten Teil davon an das Innere der Röhre abgeben kann. Von derartigen gasbindenden Körpern sind gegenwärtig hauptsächlich drei in Gebrauch, nämlich 1. das Ätzkali, 2. der Glimmer und 3. die Kohle.

Ätzkaliregulierung

Von diesen wurde das Ätzkali schon von Crookes benutzt, um das Vakuum seiner Kathodenstrahlenröhren zu regenerieren, und zwar handelt es in diesem Falle um die Eigenschaft dieses Stoffes, das Wasser mit großer Begierde anzuziehen und festzuhalten, so daß es schon einer ziemlich starken Erhitzung desselben bedarf, um einen Teil des gebundenen Wassers aus demselben herauszutreiben. Bei den ersten Röntgenröhren dieser Art wurde nun das Ätzkali an der Innenwand eines kleinen Glasröhrchens angebracht, das gewöhnlich seitlich am Kathodenhalse der Hauptröhre angeschmolzen wurde. Wenn man dann bei der fertigen Röhre das das Ätzkali enthaltende Röhrchen von außen her mit einer Flamme erhitzte, wobei man die letztere natürlich, um das Glas nicht zerspringen zu lassen, schnell ab- und zuführen mußte, so gab die Substanz einen Teil ihres Wassers in Dampfform ab, und die Röhre zeigte sich dann sofort um ein erhebliches weicher als vorher. Es konnte also auf diese Weise auch eine bereits sehr stark benutzte Röhre noch immer wieder in Gang gebracht werden. Das erkaltete Ätzkali zog allerdings den nicht verbrauchten Wasserdampf allmählich wieder an, jedoch ging dieser Vorgang so langsam vor sich, daß er für den gewöhnlichen Gebrauch der Röhre, die ja meist nur einige Minuten dauert, nicht störend war. Nach mehrstündigem Liegen war allerdings die Röhre gewöhnlich wieder ebenso hart wie zuvor; und die Regeneriervorrichtung mußte dann erforderlichenfalls aufs neue in Anspruch genommen werden.

Ein Übelstand derselben bestand nun aber darin, daß es bei dieser einfachen Erwärmung des Ätzkaliröhrchens mit der Flamme sehr schwer war, den richtigen Erhitzungsgrad des Regenerierstoffes zu treffen; und so ist denn auch diese einfache Art der Ätzkaliregulierung niemals recht in Gebrauch gekommen. Jener Übelstand wurde jedoch bereits 1897 von Queen & Co. in Philadelphia dadurch beseitigt, daß man die Erwärmung des Röhrchens nicht einfach durch eine Flamme, sondern vielmehr automatisch durch Kathodenstrahlen bewirkte, welche in einer besonderen, um jenes Röhrchen von außen her herumgebauten Kathodenstrahlenröhre erzeugt wurden.

In der Fig. 25 ist eine solche Queensche Röhre abgebildet.

Das Ätzkali befindet sich darin an der Innenwand des kleinen, kugelartigen Raumes *x*, der mit dem Raume *B* der Hauptröhre in direkter Verbindung steht. Die um *x* herumgebaute größere Kugel *D* stellt dagegen eine besondere, von der Hauptröhre vollständig abgeschlossene Kathodenstrahlenröhre dar, deren Anode *z* unmittel-

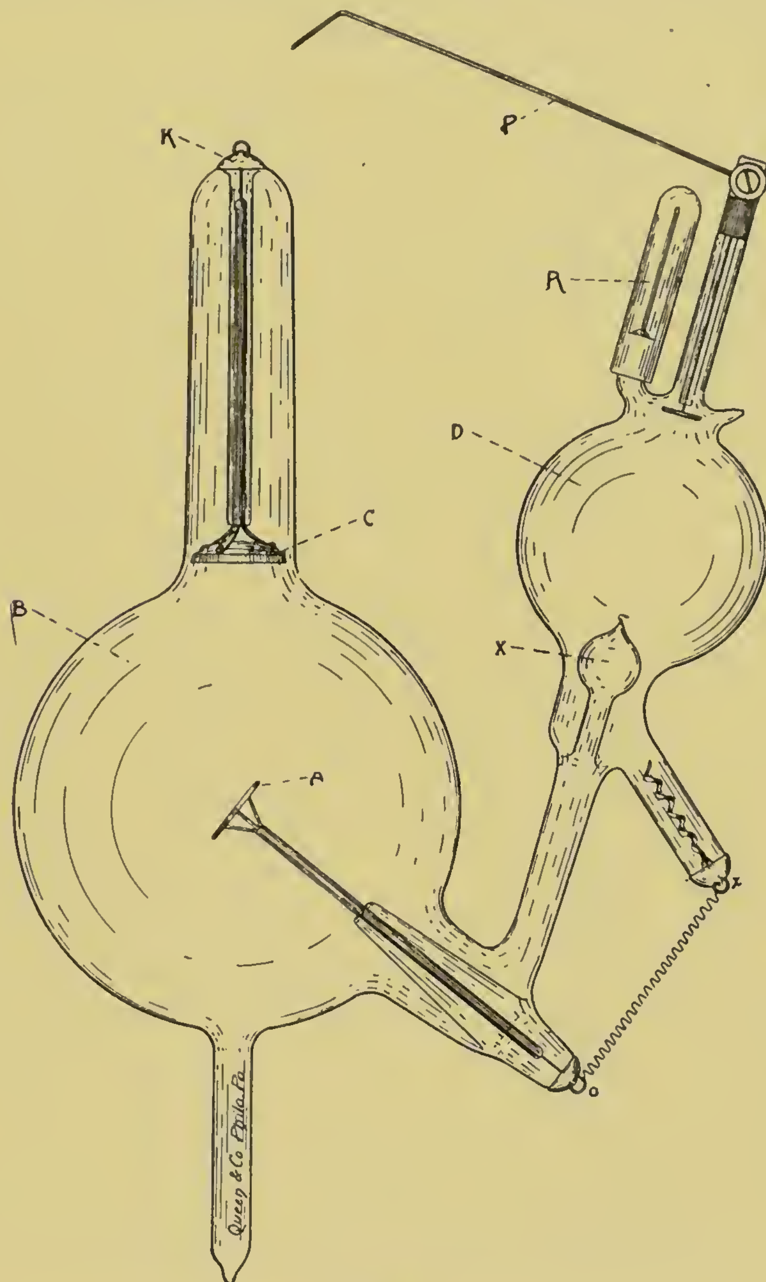


Fig. 25.

bar mit dem äußeren Teile *o* der Antikathode *A* der Hauptröhre verbunden ist, während ihre Kathode nach außen hin zu dem Metallhebel *P* führt, welcher sich dem äußeren Ende *K* der Kathode *C* der Hauptröhre bis auf einen beliebigen Abstand nähern läßt. Will man die letztere weich haben, so macht man diesen Abstand kleiner, für größere Härte dagegen größer. Sobald nämlich die Härte der Hauptröhre größer ist, als dem gewählten Abstande entspricht, gehen die Entladungen des mit *K* und *o* verbundenen

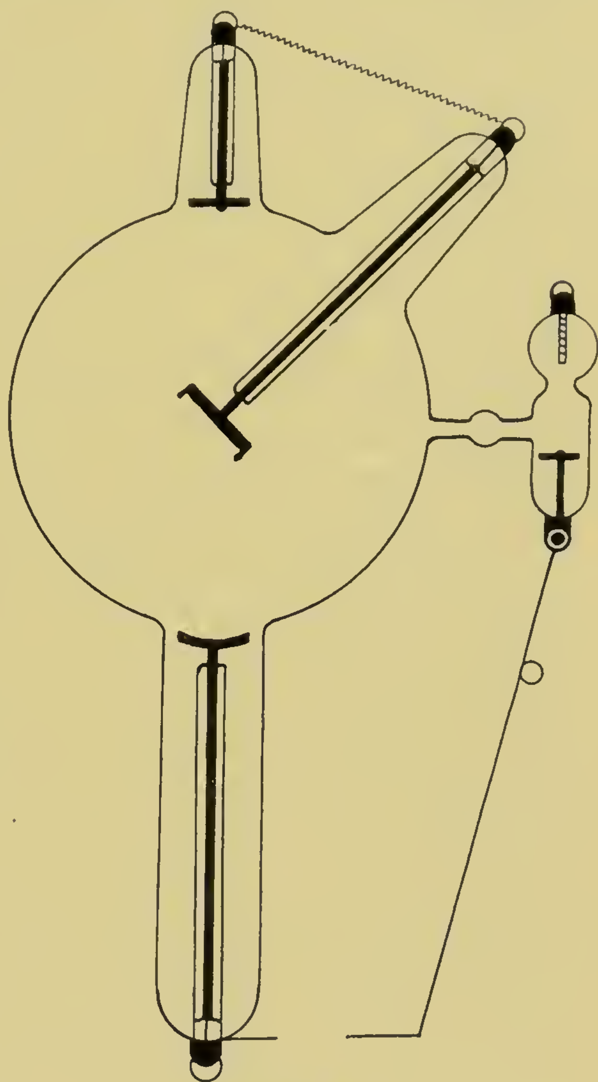
Hochspannungsapparates nicht mehr durch die Hauptröhre sondern — unter Bildung eines elektrischen Funkens zwischen *K* und *P* — durch die Nebenröhre *D*, wobei dann von deren Kathode aus ein Kathodenstrahlenbündel ausgeht, dessen größter Teil auf die Außenwand der kleinen, das Ätzkali enthaltenden Kugel *x* fällt, sie erwärmt und nun so lange anhält, bis der aus der Regeneriersubstanz entwickelte Wasserdampf die Hauptröhre um so viel weicher gemacht hat, daß die Entladungen jetzt ganz von selbst wieder den Weg durch sie hindurch nehmen, da ihnen der über die Funkenstrecke *KA* die Röhre *D* jetzt eben einen größeren Widerstand darbietet. Dieses Regenerierverfahren arbeitet — bei einigermaßen richtiger Beschaffenheit des Vakuums der Röhre *D* — ganz ausgezeichnet; und um das letztere erforderlichenfalls etwas zu verbessern, ist auch an *D* noch — bei *R* — eine Vorrichtung zur Regulierung des Gasdruckes angebracht. Trotz seiner großen Vorzüge hat sich dieses Queensche Regenerierverfahren aber doch nur sehr wenig in die Praxis eingeführt, was wohl vor allem auf den komplizierten Bau dieser Art von Röntgenröhren zurückzuführen ist.

Glimmerregulierung

Sehr viel mehr Verbreitung fand dagegen die handlichere zuerst von C. H. F. Müller in Hamburg eingeführte Glimmerregulierung, und zwar um so mehr als auch diese zu einer automatisch wirkenden ausgebildet werden konnte. Dieselbe beruht auf der Eigenschaft des Glimmers, zwischen seinen einzelnen Schichten Spuren von Gas und Wasser zu enthalten, das selbst im Vakuum nicht von selbst entweicht, sondern auch hier nur dann abgegeben wird, wenn man das Glimmerstück entweder sehr stark erhitzt oder auch seine einzelnen Lamellen durch den elektrischen Strom gewissermaßen voneinander reißt. Eine solche Müllersche Röhre mit Glimmerregulierung in einfachster Form ist in Fig. 26 abgebildet; und zwar befindet sich das Glimmerstück in dem rechts an der Kugel der Hauptröhre befindlichen Ansatzröhrchen, wo es in Form einer Scheibe auf dem oberen Ende des unten in der Achse des Röhrchens verlaufenden Aluminiumdrahtes aufgesetzt ist. Dieser Draht steht nach außen hin mit dem in der Figur gleichfalls gezeichneten langen Drahthebel in Verbindung, der um ein Scharnier gedreht werden kann, so daß sich sein freies Ende den äußeren Metallteilen der Kathode der Hauptröhre beliebig nähern läßt.

Auch diese Vorrichtung wirkt mithin automatisch; und zwar läßt sich dadurch, daß man den Abstand des Regulierhebels von den äußeren Metallteilen der Antikathode mehr oder weniger groß macht, auch ziemlich genau auf eine ganz bestimmte Härte der Hauptröhre einstellen. Mit einem Hebelabstand von 8 cm z. B. kommt man ungefähr auf Beckenhärte, mit 6 cm auf mittelweiche

Strahlung usw.; und man kann auch, wenn die Härte sich konstant auf der betreffenden Höhe halten soll, den Hebel ruhig in dem zugehörigen Abstande lassen. Zu bemerken ist dabei allerdings, daß der Glimmer, zumal wenn er schon öfter benutzt ist, sein Gas nur schwer abgibt, so daß man dann sowohl zum ersten Einregulieren der Röhre als auch später beim Nachregulieren derselben den Strom ganz erheblich verstärken muß, um ihn natürlich sofort wieder auf den normalen Wert abzuschwächen, sobald die Röhre ruhig, d. h. ohne Funkenbildung in der Regulierfunkenstrecke, zu arbeiten beginnt. Den negativen Poldraht bei der Regulierung direkt mit der Glimmerkathode zu verbinden, wozu an dem Hebel derselben eine kleine Schlinge angebracht ist, empfiehlt sich nicht, da man dann leicht überreguliert, während dies bei der oben beschriebenen Methode mit Funkenstrecke nicht möglich ist, wenn man nur den Regulierstrom rechtzeitig abschwächt. Diese allmählich immer größer werdende Sprödigkeit des Glimmers hat dazu geführt, bei wertvolleren Röhren — statt einer Glimmerkathode — gleich deren zwei in dem betreffenden Nebenrohre anzubringen, so daß man dann, nachdem die erste derselben ihren Gasinhalt erschöpft hat, noch die zweite in Betrieb nehmen kann, was einfach durch Umlegen des Hebels von der ersten an die zweite geschieht. Ist auch diese erschöpft, so bleibt allerdings nichts anderes übrig, als die Röhre aufs neue evakuieren und mit neuen Regeneriervorrichtungen versehen zu lassen, eine Maßregel, die sich aber nur dann empfiehlt, wenn sich an der inneren Seite der Glaswände der Röhre noch kein nennenswerter Metallniederschlag gebildet hat. Die durch die Röntgenstrahlen bewirkte Violettfärbung des Glases dagegen stellt in dieser Beziehung durchaus kein Hindernis dar.


Fig. 26.

Kohleregulierung

Der dritte der oben erwähnten, zur Regenerierung von Röntgenröhren benutzten Stoffe, die Kohle, wurde zuerst von Hirschmann in Berlin in die Röntgenpraxis eingeführt und wird jetzt gewöhnlich ebenfalls wie das Glimmerstückchen in der Röhre der Fig. 26 angebracht, jedoch ist hierbei zu bemerken, daß dieser Stoff dem hindurchgehenden Strome gegenüber weit empfindlicher ist als der Glimmer, so daß man dabei den zur Regenerierung dienenden Strom — zumal bei einer neuen Röhre — nicht verstärken, sondern im Gegenteil abschwächen, und auch zunächst nur einige Momente eingeschaltet lassen muß, wenn man die Röhre nicht überweich machen will. Die Kohle gibt eben das in ihr enthaltene Gas viel leichter an das Vakuum ab als der Glimmer, so daß daher Röhren mit Kohleregulierung manchmal auch schon von selbst weicher werden, während eine Röhre mit Glimmerregulierung beliebig lange lagern kann, ohne ihren Härtegrad zu verändern. Andererseits scheint allerdings ein richtig behandeltes Kohlestück etwas mehr Gas zu enthalten als ein Glimmerstück, so daß daher die Röhren mit Kohleregulierung vielleicht eine etwas größere Ausbeute an Röntgenstrahlen geben als solche mit Glimmer.

Am Schlusse dieser Bemerkungen über die verschiedenen Verfahren zur Erneuerung des Gasinhaltes einer Röntgenröhre möge nun noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die sämtlichen, diesem Zwecke dienenden Vorrichtungen sich natürlich auch dazu benutzen lassen, die damit versehenen Röntgenröhren von dem betreffenden Härtezustand, in welchem sie sich gerade befinden, in einem beliebig weicheren überzuführen; in der Praxis kann es sich nun aber auch manchmal darum handeln, umgekehrt eine zu weiche Röhre härter zu machen — z. B. dann, wenn die Röhre durch Überlastung der Regeneriervorrichtung oder auch durch Überlastung im Betriebe selbst zu weich geworden ist —, und zu diesem Zwecke sind natürlich wieder besondere Methoden nötig, die wir jetzt noch kurz besprechen wollen.

Härtermachen von Röntgenröhren

Der naturgemäßeste, wenn auch nicht gerade schnellste Weg, eine aus irgend einem Grunde zu weich gewordene Röntgenröhre wieder härter zu machen, ist offenbar der, sie einfach einige Stunden lang in normaler Weise zu betreiben, da sie dann ja nach dem Obigen von selbst allmählich wieder härter wird. Dabei hat man jedoch zu berücksichtigen, daß die Röhre bei einem solchen Dauerbetrieb allmählich ziemlich warm wird, so daß sie dabei zunächst gewöhnlich nicht härter sondern weicher wird. Sollte dies in sehr großem Maßstabe eintreten, so muß man die Belastung verringern. Nach einigen Stunden bemerkt man dann deutlich eine allmähliche Zunahme der Härte und hört nun mit dem Betriebe

auch schon etwas eher auf als, bis die gewünschte Härte erreicht ist, da ja die Röhre beim Erkalten noch etwas nachhärtet, insofern dann ein großer Teil des in der heißen Röhre im freien Zustande befindlichen Gases von den inneren Oberflächen derselben gebunden wird.

Diese Art der Härtung einer Röntgenröhre ist nun allerdings etwas langwierig, und so hat man denn vielfach empfohlen, dieselbe dadurch zu beschleunigen, daß man den Strom in umgekehrter Richtung durch die Röhre schickt. Der Zweck dieser Maßregel ist nämlich der, auf diese Weise das Metall der Antikathode, die ja in diesem Falle zur Kathode wird, künstlich zur Zerstäubung zu bringen und dann durch das zerstäubte Metall eine Okklusion eines Teiles des Gasinhaltes der Röhre zu bewirken. Diese Härtungsmethode führt denn auch tatsächlich viel schneller zum Ziele als die oben vorgeschlagene Methode; nichtsdestoweniger ist aber von der Benutzung derselben doch dringend abzuraten, da eine Röhre, deren Glaskugel in ihrem Innern mit einem stärkeren Metallbeleg überzogen ist, sehr unsicher arbeitet, indem nämlich dieser Belag — wegen der darauffallenden sekundären Kathodenstrahlung — bei jeder Inbetriebsetzung der Röhre wieder stark erwärmt wird, so daß also die in demselben okkludierten Gase immer wieder aufs neue hervorgetrieben werden und so mithin ein viel leichteres Erweichen der Röhre im Betriebe stattfindet als ohne den Belag.

Weniger schädlich wirkt jedoch die Härtung der Röhre durch künstliche Metallzerstäubung dann, wenn dieser letztere Vorgang in einem besonderen Nebenraume derselben stattfindet, der später beim normalen Betriebe derselben überhaupt nicht mehr warm wird; und tatsächlich bringen denn auch mehrere Fabrikanten zu diesem Zweck an ihren Röhren solche Vorrichtungen zum künstlichen Härtermachen der Röhre an, die gewöhnlich einfach aus einem Stückchen Platindraht oder -blech besteht, das nach außen hin zu einer Elektrode führt. In der Fig. 26 z. B. sieht man eine solche in dem oberen Teile der rechts an der Kugel der Hauptröhre angeschmolzenen Nebenröhre, die ja in ihrem unteren Teile auch die früher beschriebene Vorrichtung zum Weichermachen und Regenerieren der Röhre enthält. Diejenige zur Härtung der Röhre sollte nun, um ihren Zweck zu erfüllen, eigentlich als Kathode benutzt werden — denn nur dann findet ja eine Zerstäubung ihres Metalles statt — während man als Anode z. B. die Kathode der Hauptröhre wählen kann; da jedoch in diesem Falle die Erhitzung des Platinstückchens beim Hindurchschicken des Stromes leicht zu stark wird, so empfehlen die betreffenden Fabrikanten gewöhnlich, den Härtungsstrom in umgekehrter Richtung durch die Röhre zu

schicken, d. h. jene Zerstäubungselektrode als Anode (positiven Pol) zu benutzen. In diesem Falle wird die Zerstäubung natürlich nur durch die Ströme verkehrter Richtung, bei Induktorbetrieb also nur durch die sogenannten Schließungsströme des Apparates bewirkt, Ströme, die jedoch in einem guten Röntgenbetriebe eigentlich überhaupt nicht vorkommen sollten, so daß daher auch diese Art der Härtung dann natürlich keinen Erfolg haben kann. Darum ist es sicherer, bei der Härtung die Zerstäubungselektrode doch als Kathode zu benutzen; jedoch muß man dann allerdings den Strom derartig abschwächen, daß das Platinstückchen nicht über Rotglut hinauskommt.

Im übrigen ist noch zu bemerken, daß diese Zerstäubung natürlich nicht so schnell wirkt, wie diejenige des Metalles der Antikathode der Hauptröhre, da das zerstäubte Metall in der kleinen kleinen Nebenröhre ja auf eine viel kleinere Oberfläche verteilt wird. Auch wird man diese Härtungsmethode — ebenso wie alle anderen — nur in solchen Fällen benutzen, wo die Röhre schon so weich geworden ist, daß sie sonst im Röntgenbetriebe überhaupt nicht mehr zu verwerten ist; nicht aber z. B. zu dem Zwecke, um eine sonst noch gut brauchbare Röhre auf einen höheren Härtegrad zu bringen, den man vielleicht gerade nötig hat. Vielmehr wird man in jedem größeren Röntgenlaboratorium dafür sorgen, daß stets genügend Röhren von verschiedener Härte vorhanden sind, und in letzteren Falle dann lieber eine zu harte Röhre weicher machen als umgekehrt in einer weicheren ihren so kostbaren Gasinhalt durch eine der oben beschriebenen Härtungsmethoden unnütz aufarbeiten.

---

3. Kapitel.

Die Messung des Durchdringungsvermögens der Röntgenstrahlen (Härteskalen).

Ein möglichst deutliches Bild des mit Röntgenstrahlen zu untersuchenden Gegenstandes oder Körperteiles erhält man sowohl auf dem Leuchtschirm wie auf der photographischen Platte nur dann, wenn man das Durchdringungsvermögen jener Strahlen oder, was auf dasselbe hinauskommt, die Härte der Röhre der Durchlässigkeit des zu durchstrahlenden Organes soweit als möglich angepaßt und sie auch während der ganzen Beobachtungs-, bzw. Aufnahmezeit soweit als möglich konstant erhalten hat. Der Kontrast in den Röntgenbildern wird nämlich, wie schon im ersten Kapitel

dargelegt wurde, um so größer, je geringer die Härte der Röhre ist, so daß man es sich also in der Röntgenographie sowohl wie in der Röntgenoskopie allgemein zum Grundsatze machen muß, in jedem Falle eine Röhre von möglichst geringer Härte zu nehmen. Darin darf man aber wieder nicht soweit gehen, daß die Strahlen der Röhre überhaupt nicht imstande sind, das zu durchleuchtende Organ zu durchdringen; denn auf dem Leuchtschirm würde man dann natürlich überhaupt nichts mehr zu sehen bekommen, und für die röntgenographische Aufnahme andererseits würde eine äußerst lange Aufnahmezeit erforderlich werden. Darum existiert denn auch für jeden menschlichen Körperteil eine bestimmte Härte der Röhre, welche bei nicht zu langer Expositionszeit die besten Bilder desselben liefert, wenn freilich auch nicht zu übersehen ist, daß man je nach dem bestimmten Zweck auch für dasselbe Organ unter Umständen ziemlich verschiedene Röhrenhärten benutzen wird. So muß z. B. bei einer Handaufnahme die Härte einer Röhre sehr gering genommen werden, wenn es sich um eine Differenzierung in den Weichteilen derselben handelt, während man eine erheblich größere Härte benutzen muß, wenn es sich um etwaige Abnormitäten in oder an ihren Knochen handelt, für welche eine gute Durchdringung dieser Knochen in ihrer ganzen Tiefe notwendig ist; und dasselbe gilt natürlich auch für andere Körperteile.

Härtemessung durch die Qualität des Schirmbildes

Was nun aber die Messung des Durchdringungsvermögens der Strahlung einer Röntgenröhre angeht, so kann man dasselbe bis zu einem gewissen Grade natürlich auch schon aus dem Aussehen des auf dem Leuchtschirm entworfenen Bildes irgendeines menschlichen Körperteiles — und zwar am bequemsten natürlich der Hand des Beobachters selbst — beurteilen. Abgesehen nun aber davon, daß dieses Verfahren doch erheblich weniger genau ist als die weiter unten zu beschreibenden Methoden, so ist dasselbe auch für jemand, der täglich mit den Röntgenstrahlen umgeht, unbedingt zu vermeiden, da diese Strahlen bei längerer Einwirkung auf den menschlichen Körper zu schweren und, wie es scheint, unheilbaren Erkrankungen desselben führen. In obigem Falle würde natürlich in erster Linie die bestrahlte Hand selbst, in zweiter aber auch, wenn man keine besonderen Vorsichtsmaßregeln trifft, die Gesichtshaut und das Auge des Beobachters davon betroffen werden. Zu berücksichtigen ist dabei nämlich noch, daß es zur Erzielung einer guten Aufnahme nicht genügt, die Härte der Röhre nur zu Beginn der Beobachtungs- bzw. Aufnahmezeit zu messen, sondern man muß dieselbe, wie im vorigen Kapitel dargelegt wurde, am besten während der ganzen Benutzungsdauer der Röhre überwachen, bzw. überwachen lassen. Zu diesem Zweck ist nun aber

natürlich unbedingt ein besonderer Apparat notwendig, der zugleich so auszubilden ist, daß der damit arbeitende Beobachter von den Strahlen der Röhre, deren Härte er zu bestimmen hat, überhaupt nicht getroffen werden kann.

Härtemessung durch Funkenstrecken

Eine solche Methode zur Messung der Härte einer Röntgenröhre läßt sich nun zunächst auf die bereits im ersten Kapitel erwähnte Tatsache gründen, daß mit dieser Härte auch die zum Betriebe der Röhre erforderliche elektrische Spannung steigt, eine Tatsache, von der ja überhaupt der Ausdruck „Härte" herstammt. Jedes Instrument also, welches dazu dienen kann, jene Spannung zu messen, muß uns daher auch bis zu einem gewissen Grade über das Durchdringungsvermögen der Strahlung der Röhre Auskunft geben.

Das einfachste Mittel zur Messung der hier in Frage kommenden ziemlich hohen elektrischen Spannungen besteht nun darin, daß man, wie in Fig. 27 dargestellt ist, „parallel" zu der Röhre *R* eine Funkenstrecke *CD* schaltet, die in diesem Falle gewöhnlich von einer aus Messing verfertigten Platte *C* und einer Spitze *D* aus demselben Metalle besteht, die beide von isolierenden, in der Figur nicht mitgezeichneten, Hartgummistäben getragen werden, und von denen die Platte *C* mit irgendeinem Punkte der negativen und die Spitze *D* mit der entgegengesetzt geladenen Drahtleitung verbunden wird. Die sich einander gegenüberstehenden Metallteile *C* und *D* der Funkenstrecke, die auch die Elektroden derselben heißen, werden dann nach dem Ingangsetzen der Röhre allmählich einander so weit genähert, bis sich zwischen ihnen die ersten Funken zeigen; und die Länge dieser Funken — in gerader Luftlinie gemessen — bezeichnet man dann direkt als die Schlagweite oder Funkenlänge der Röhre und kann auch aus ihrer Größe tatsächlich einen gewissen Schluß auf das Durchdringungsvermögen ihrer Strahlung ziehen.

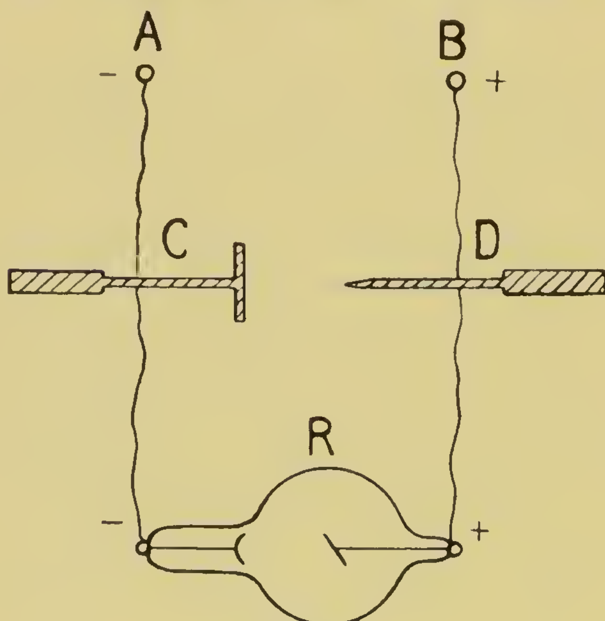


Fig. 27.

Die so bestimmte Funkenlänge der Röhre ist jedoch noch eine ziemlich unsichere Größe, da sie von vielen Dingen abhängt, die mit dem mittleren Durchdringungsvermögen der Strahlung der

Röhre, auf dessen Messung es uns ja ankommt, wenig oder gar nichts zu tun haben. Zunächst nämlich ändert sich jene Funkenlänge mit der Form der in der Funkenstrecke *CD* (Fig. 27) angewandten Elektroden, d. h. sie wird eine andere, wenn man z. B. an Stelle von Spitze und Platte zwei Spitzen nimmt, und wieder eine andere, wenn die sich gegenüberstehenden Enden von *C* und *D* aus Kugeln bestehen usw.

Für die praktische Anwendung dieser Meßmethode würde nun zwar dieser Umstand noch kein Hindernis darstellen, da ja einesteils ein und derselbe Beobachter stets mit ein und derselben Funkenstrecke arbeiten wird, und anderenteils auch alle zusammen sich sehr leicht auf eine bestimmte Form der Elektroden einigen könnten. Weit schwerer fällt dagegen bei dieser Art der Härtemessung ins Gewicht, daß die in obiger Weise bestimmte Funkenlänge der Röhre auch noch von sehr vielen anderen Umständen, z. B. von der Form und dem Alter der Röntgenröhre selbst, von der Stärke des durch sie hindurch geschickten Stromes, sowie von der Art und der Schaltungsweise des zu ihrem Betriebe dienenden Hochspannungsapparates abhängt, so daß man oft bei ein und derselben Röhre, Funkenstrecke und Betriebsweise bei zwei unmittelbar aufeinander folgenden kurzdauernden Einschaltungen für die in obiger Weise bestimmte Funkenlänge ganz verschiedene Werte erhält, ohne daß ein Unterschied in dem Durchdringungsvermögen ihrer Strahlung zu erkennen wäre.

Als ein Beispiel für die gänzliche Unzuverlässigkeit dieser Methode möge noch angegeben werden, daß Kienböck bei seinen in Kap. 4 zu erwähnenden Versuchen über die Dosierung der Röntgenstrahlen für eine Röhre, deren Härte 5 BW. war, eine Funkenlänge von 18 cm angibt, während Verfasser für eine andere Röhre, deren Strahlung ebenfalls 5 BW. zeigte, nur eine Funkenlänge von 8 cm fand. Nichtsdestoweniger gaben beide Röhren, wie in Kap. 4 noch näher ausgeführt werden wird, — auf gleiche Stromstärken umgerechnet —, fast die gleiche Röntgenwirkung; und der große Unterschied in ihrer Funkenlänge kommt mithin für die Praxis nicht in betracht.

Der Grund für die Unzuverlässigkeit der Härtemessung mit Funkenstrecke liegt hauptsächlich darin, daß der durch die Röhre gehende elektrische Strom, wie wir später sehen werden, nicht eine dauernd gleichmäßige Stärke hat, sondern stets aus einer Aufeinanderfolge von einzelnen, sehr kurzdauernden Stromstößen besteht, während welcher der elektrische Widerstand der Röhre und daher auch die zwischen ihren Enden herrschende elektrische Spannungsdifferenz ganz beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist, und daß nun die

in der oben beschriebenen Weise parallel zu der Röhre geschaltete Funkenstrecke von allen diesen verschiedenen Spannungswerten nur die maximalen mißt, während die Qualität der von der Röhre ausgehenden Röntgenstrahlung natürlich von den sämtlichen, während der ganzen Dauer jener Stöße herrschenden Spannungswerten abhängt. Beide Spannungwerte können aber je nach dem Charakter und der Betriebsart der Röhre in sehr verschiedenem Verhältnis zueinander stehen, so daß also eine zuverlässige Bestimmung des Durchdringungsvermögens einer derartig erzeugten Röntgenstrahlung auf diese Weise nicht möglich ist.

Weiter läßt sich nun die elektrische Spannung zwischen den beiden Polen einer Röntgenröhre aber auch mit Hilfe besonderer Instrumente, sog. Elektrometer oder Voltmeter, messen, deren Angaben ebenso wie die zu messende Röntgenstrahlenqualität von den sämtlichen Spannungswerten abhängt, welche für die Erzeugung der Röntgenstrahlen in der Röhre in Frage kommen. Ein Instrument dieser Art, dessen Angaben unabhängig von der Art des zum Betriebe der Röhre gebrauchten Hochspannungsapparates wären, existiert indessen bisher nicht; und so sind wir denn bis jetzt noch darauf angewiesen, das Durchdringungsvermögen der von einer Röntgenröhre ausgesandten Strahlen direkt mit Hilfe dieser Strahlen selbst zu messen, was sich denn auch auf mehrfache Weise mit ziemlich großer Genauigkeit ausführen läßt. Die dazu benutzten Instrumente werden jetzt in der Regel als „Härteskalen" bezeichnet, obgleich man sie richtiger „Penetrometer" heißen sollte; denn die Instrumente messen ja nicht eigentlich die Härte der Röhre, d. h. die an ihren Enden auftretende elektrische Spannungsdifferenz, sondern vielmehr direkt das Durchdringungsvermögen ihrer Strahlung.

Härteskala nach Walter

Von den bekannteren Härteskalen dieser Art dürfte nun die einfachste — sowohl hinsichtlich der ihr zugrunde liegenden Prinzipien als auch in bezug auf ihre Anwendungsweise — diejenige des Verfassers, die sog. Walter-Skala, sein; und so mag denn diese hier zuerst beschrieben werden.

Dieselbe mißt das Durchdringungsvermögen der Strahlung einer Röntgenröhre einfach durch die Dicke derjenigen Platinschicht, welche die Strahlung noch eben zu durchdringen vermag. Zu diesem Zwecke sind in einer 2 mm dicken Bleischeibe von etwa 20 cm Durchmesser in der Weise, wie in Fig. 28 dargestellt ist, acht runde Löcher von je 6 mm Durchmesser und 10 mm gegenseitigem Abstand angebracht und darauf in der in der Figur angegebenen zickzackförmigen Reihenfolge je ein Platinblech von bzw. 0,005, 0,01, 0,02, 0,04, 0,08, 0,16, 0,32 und 0,64 mm Dicke befestigt, so daß also die Dicke des Platins von einem Felde zum

andern jedesmal auf das Doppelte steigt. Die Bleischeibe wird dann der Sauberkeit und Haltbarkeit wegen allseitig mit dünnem Holze umkleidet, dann auf ihrer in Fig. 29 dargestellten Rückseite bei C zunächst ein kleiner Bariumplatincyanürschirm und dahinter schließlich ein dickes Stück Bleiglas angebracht, das von dem Messingkasten B gehalten wird, an den endlich noch das als Handgriff dienende länglichrunde Messingrohr R angelötet ist.

Zur Bestimmung der Härte einer Röntgenröhre hält man nun die Skala an diesem Handgriff so, daß ihre Vorderseite, die in Fig. 29 nach unten zu gekehrt ist, sich in der Nähe der Glaswand

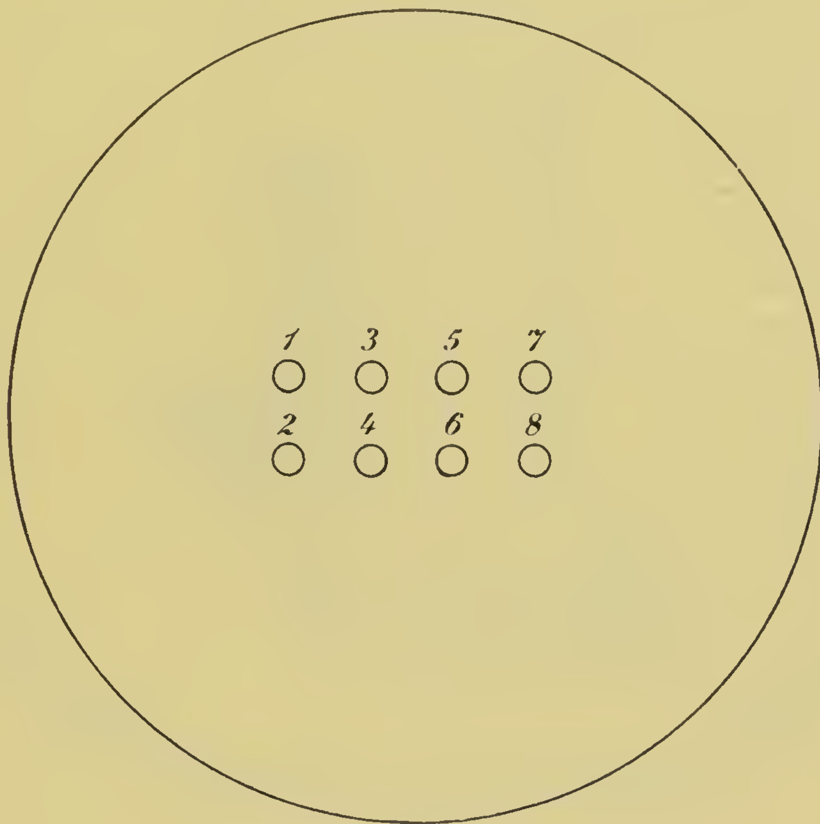


Fig. 28.

der Röhre befindet und auf dem sie durchsetzenden Strahlenbündel nahezu senkrecht steht. Blickt man dann in der Richtung A in das Rohr R hinein, so sieht man auf dem Leuchtschirm eine Anzahl heller runder Kreise, die natürlich daher rühren, daß die Strahlung die betreffenden Platinfelder der Skala durchdrungen hat. Die Zahl dieser Felder wird nun um so größer sein, je größer das Durchdringungsvermögen der zu untersuchenden Strahlung ist, und so kann die Zahl der in der Skala sichtbaren Felder direkt zur Bezeichnung der Härte der Röntgenröhre dienen. Eine Röhre z. B., bei der man 7 von den 8 Feldern der Skala aufleuchten sieht, hat demnach die Härte 7 W, und eine andere, deren Strahlung nur 3 Felder zu durchdringen vermag, die Härte 3 W, wobei der hinter die Zahlen gesetzte Buchstabe W die Art der in diesem

Falle benutzten Skala — zum Unterschiede von den später zu beschreibenden Instrumenten dieser Art — andeutet.

Daß die acht Felder der Skala in der in Fig. 28 dargestellten zickzackförmigen Reihe und nicht etwa die Nummern 1—4 in der oberen und 5—8 in der unteren Reihe angeordnet sind, hat seinen Grund darin, daß im letzteren Falle bei der Messung einer Röhrenhärte 5—8 die Erkennung der in der unteren Reihe liegenden leuchtenden Kreise, deren Helligkeit dann natürlich viel geringer ist als die der oberen, durch diese letzteren erheblich erschwert werden würde, während bei der in Fig. 28 getroffenen Anordnung

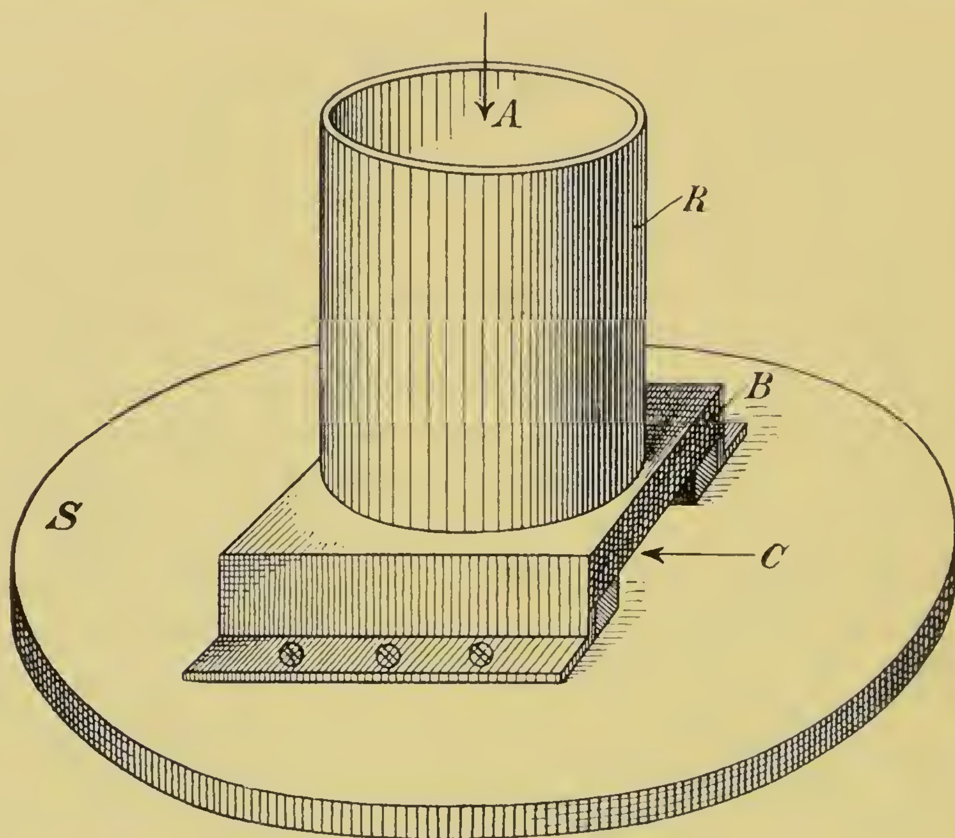


Fig. 29.

die schwach erleuchteten Kreise von den stark leuchtenden erheblich weiter entfernt sind.

Als absorbierendes Material für die Felder der Skala wurde Platin genommen einesteils, weil es chemisch sehr beständig ist, und andernteils weil es als hochatomiges Metall nur eine verhältnismäßig schwache Sekundärstrahlung entwickelt und daher besonders von den schwach durchstrahlten Feldern deutlichere Bilder liefert als beispielsweise Stanniol (Zinn), das man früher vielfach zu ähnlichen Instrumenten verwandte.

Zu bemerken ist ferner noch, daß der hinter den Feldern der Skala angebrachte Leuchtschirm sich in der Richtung des in Fig. 29 gezeichneten Pfeiles C etwas hin und her schieben läßt. Dies hat seinen Grund darin, daß das Bariumplatincyanür dieses Schirmes,

wenn es längere Zeit einer sehr starken Bestrahlung unterworfen wird, sich allmählich immer stärker färbt (s. Kap. 1, S. 17 sowie auch Kap. 4) und zugleich auch sein Fluoreszenzvermögen immer mehr einbüßt. Das letztere kehrt jedoch bei längerem Ausruhen der Substanz, zumal wenn man sie dabei schwachem Tageslichte aussetzt, allmählich wieder zurück. Um aber hierauf nicht warten zu brauchen, kann man auch schon vorher durch Verschieben des Schirmes frische Teile desselben hinter die Felder bringen — und zwar ist diese Maßnahme besonders dann zu empfehlen, wenn man mit einer solchen viel benutzten Skala ausnahmsweise einmal die Härte einer sehr weichen Röhre messen will; denn die hinter den hierbei in Frage kommenden dünnen Platinfeldern liegenden Stellen des Leuchtschirms erhalten bei der gewöhnlich benutzten Röhrenhärte (5—7 W) natürlich weit mehr Strahlung und sind daher auch weit mehr ermüdet als die Felder mit höheren Nummern.

Eine weitere Forderung, die sich aus dieser Veränderlichkeit des Bariumplatincyanürs ergibt, ist die, daß man in dem Falle, wo man eine, mit einem solchen Leuchtschirm arbeitende Skala dauernd in der Nähe einer Röntgenröhre anbringt, wie dies z. B. bei einem, die letztere aufnehmenden Schutzkasten aus Bleigummi oder dgl. erwünscht ist, die Skala vor der dauernden Einwirkung der Strahlen durch ein zurückklappbares Bleiblech schützen muß, das man dann immer nur für die jedesmalige Härtemessung zurückklappt. Bei einer derartigen Anbringung der Skala ist natürlich die große Bleischeibe *S*, sowie auch das Rohr *R* der in Fig. 29 abgebildeten, für den gewöhnlichen Handgebrauch bestimmten Skala überflüssig; denn jene Scheibe ist selbstverständlich in erster Linie dazu bestimmt, die die Skala bei *R* angreifende Hand des Beobachters vor der Einwirkung der direkten Strahlung der Röhre zu schützen, eine Aufgabe, die ja in dem genannten Falle bereits durch den die Röhre umschließenden Schutzkasten übernommen wird. Dagegen ist das bereits obenerwähnte, in dem Metallkasten *B* der Fig. 29 befindliche Bleiglas, das zum Schutze der Augen und der Gesichtshaut des Beobachters dient — insofern es die durch die Felder der Skala hindurchgegangene Strahlung, nachdem sie ihre Aufgabe im Bariumplatincyanürschirm erfüllt hat, vollständig absorbiert — natürlich auch in diesem Falle noch erforderlich.

Schließlich sei noch bemerkt, daß der Beobachter beim Messen der Härte, die übrigens in möglichst dunklem Zimmer zu geschehen hat (s. weiter unten), nicht etwa mit dem Gesicht bis unmittelbar an das Rohr *R* der Skala heranzugehen hat, sondern dabei besser im Abstand der deutlichen Schweite vom Leuchtschirm derselben bleibt, da er dann die hellen Kreise deutlicher erkennt.

Härteskala nach Walter und Albers-Schönberg

Nach Albers-Schönberg läßt sich nun die Skala aber auch selbst dann noch zur Überwachung der Härte einer Röntgenröhre benutzen, wenn der Beobachter sich — des größeren Schutzes wegen — gar nicht in die Nähe der Röhre begibt, sondern sich dauernd in einer mit Blei ausgeschlagenen Schutzhütte aufhält und dabei auch — des noch größeren Schutzes wegen — die draußen befindliche Röhre stets so einstellt, daß ihre eigentliche primäre Röntgenstrahlung überhaupt nicht nach der Gegend, wo sich der Beobachter befindet, hinfällt. In diesem Falle ist es dann natürlich nicht mehr diese primäre Strahlung der Röhre, welche die Felder der in der Wand der Schutzhütte angebrachten Härteskala zum Aufleuchten bringt, sondern vielmehr nur die von ihren phosphoreszierenden Glasteilen ausgehende sekundäre Strahlung, die wir in Kap. 1 als die Glasstrahlung der Röhre bezeichnet haben. Die Gesamtintensität dieser Strahlung beträgt nun aber nach Kap. 1 nur etwa 15 $^0/_0$ von der Primärstrahlung, und ferner ist auch die Härte der ersteren stets um etwa eine Nummer kleiner als die der letzteren, so daß man daher — zumal wenn man auch noch den großen Abstand des Beobachters von der Skala in Betracht zieht — bei dieser Beobachtungsweise in der oben beschriebenen Skala natürlich erheblich weniger Felder aufleuchten sehen würde als bei der gewöhnlichen Beobachtung mit direktem Strahlenkegel und aus nächster Nähe der Röhre.

Um daher diese Unterschiede möglichst wieder auszugleichen, wurde die Walter-Skala für diese Beobachtungsweise dahin abgeändert, daß die drei stärksten Platinfelder der ersteren, die hier überflüssig waren, weggelassen und dafür zwischen die vier vorhergehenden Felder je eines mit mittlerer Platindicke zwischengeschoben wurde, so daß also die Dicke des Platins in den 8 Feldern dieser „Härteskala nach Walter und Albers-Schönberg“ der Reihe nach bzw. 0,005, 0,01, 0,015, 0,02, 0,03, 0,04, 0,06 und 0,08 mm beträgt.

Die Härtenummer der Röhre in dieser Skala deckt sich dann für die genannte Beobachtungsweise nach Albers-Schönberg annähernd mit derjenigen der Walter-Skala bei Nahbeobachtung[1]).

Schließlich soll hier nicht unterlassen werden, noch auf zwei prinzipielle Fehler dieser beiden Skalen hinzuweisen, die zwar bei der praktischen Anwendung derselben wenig in Betracht kommen, immerhin aber doch berücksichtigt werden müssen. Dieselben be-

[1]) Diese Skalen werden von R. Seifert & Co. in Hamburg hergestellt und im physikalischen Staatslaboratorium daselbst auf die Richtigkeit ihrer Platinfelder und die Zuverlässigkeit ihres Bleiglasschutzes geprüft, worüber jeder Skala eine Bescheinigung beigegeben wird.

stehen darin, daß die Zahl der Felder, welche man bei einer solchen Skala aufleuchten sieht, außer von dem Durchdringungsvermögen der Strahlung, das ja damit gemessen werden soll, einesteils auch noch von der subjektiven Beschaffenheit des Beobachters abhängt — insofern derjenige, welcher längere Zeit im Dunkeln verweilt hat, von den schwach leuchtenden Feldern der Skala natürlich leicht eines oder gar zwei mehr sehen wird als der, welcher eben aus dem Hellen kommt — und anderenteils auch von der Stärke der Belastung der Röhre — insofern man mit einer kräftigeren Strahlung natürlich auch ein stärkeres Leuchten der in Frage kommenden Felder der Skala hervorruft und daher auch auf diese Weise unter Umständen ebenfalls ein Feld mehr oder weniger in der Skala zur Beobachtung bringen kann.

Zu dem ersteren Punkt ist nun zu bemerken, daß für den Röntgenologen ein gut ausgeruhtes Auge ja auch schon der Beobachtungen auf dem Leuchtschirm wegen nötig ist, so daß derselbe mithin sein Röntgenlaboratorium niemals durch grelles Licht beleuchten darf, sondern am besten durch solches, welches von der Decke des Zimmers reflektiert wird und von einer nach unten zu abgeschirmten, nicht zu kräftigen Lampe herrührt. Eine vollständige Verdunkelung des Zimmers dagegen ist für das Ausruhen der Augen durchaus nicht nötig, wohl aber natürlich in dem Augenblicke, wo man an einer der hier in Rede stehenden Härteskalen die Skalennummer abliest, so daß man also z. B. während einer röntgenographischen Aufnahme vollständig dunkel macht. Das grüne Phosphoreszenzlicht der Röhre braucht jedoch nicht besonders abgeblendet zu werden, da das Auge ja vor seinem direkten Einfluß durch die Scheibe *S* der Skala (Fig. 29) geschützt und der von den Wänden des Zimmers zurückgeworfene Teil dieses Lichtes zu schwach ist, um noch störend zu wirken. Im übrigen wird sich ja auch — wegen des Schutzes des Beobachters vor der schädlichen Wirkung der Röntgenstrahlen — die Röhre in der Regel entweder in einem besonderen Schutzkasten oder der Beobachter in einer besonderen Schutzhütte befinden, und dann ist sein Auge natürlich zugleich auch vor der blendenden Wirkung des von der Röhre ausgehenden Phosphoreszenzlichtes geschützt.

Was sodann den zweiten der obenerwähnten Mängel der hier in Rede stehenden Härteskalen: ihre Abhängigkeit von der Stärke der Belastung der Röhre angeht, so ist auch dieser Umstand in der Praxis bisher nirgends störend empfunden worden, was hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, daß einesteils die Abstufung der Skala von Feld zu Feld eine derartig starke ist, daß die Strahlen einer Röhre das höhere Feld eben nur dann zu durchdringen ver-

mögen, wenn sie auch wirklich ein höheres Durchdringungsvermögen besitzen, und daß man ferner auch bei einer länger dauernden Exposition, wo ja die fortwährende Überwachung der Härte der Röhre von besonderer Wichtigkeit ist, die Belastung derselben in der Regel nur wenig oder gar nicht ändert. Den genannten kleinen Mängeln der Skala stehen andererseits in ihrer großen Empfindlichkeit und trotzdem mühelosen Anwendung so beträchtliche Vorzüge gegenüber, daß dieselben denn auch bereits in den meisten Ländern eine sehr große Verbreitung gefunden haben.

Härteskala nach Benoist

Eine andere, besonders in Frankreich sehr viel benutzte Härteskala für Röntgenröhren ist das von L. Benoist in Paris stammende und von ihm als „Chromoradiometer“ bezeichnete Instrument, das jetzt gewöhnlich kurz Benoist-Skala genannt wird. Dasselbe beruht auf der von diesem Beobachter gefundenen Tatsache, daß die Durchlässigkeit der Metalle, deren Atomgewicht etwa zwischen 100 und 150 liegt, also z. B. des Silbers, sich gegenüber den Strahlungen verschieden harter Röntgenröhren in viel geringerem Grade ändert als die der übrigen chemischen Elemente. Benoist ordnet demnach, wie in der Fig. 30 dargestellt ist, um ein kreisförmiges Silberblech von 0,11 mm Dicke die zwölf Sektoren 1, 2, 3 ... 12 an, die aus bzw. 1, 2, 3 ... 12 mm dickem Aluminiumblech bestehen; und er mißt dann die Härte einer Röhre in der Weise, daß er auf einem hinter der Skala gehaltenen Leuchtschirm dasjenige Aluminiumfeld aufsucht, welches für die betreffende Strahlung die gleiche Durchlässigkeit zeigt wie die mittlere Silberscheibe, was natürlich an der gleichen Helligkeit der beiden dahinterliegenden Teile des Leuchtschirmes erkannt wird. Bei einer weichen Röhre beispielsweise wird dies für das dritte Aluminiumfeld zutreffen; und dieselbe wird dann also die Härte 3 B haben, während eine harte Röhre der für Beckenaufnahmen und dgl. bestimmten Art 6—8 B zeigt.

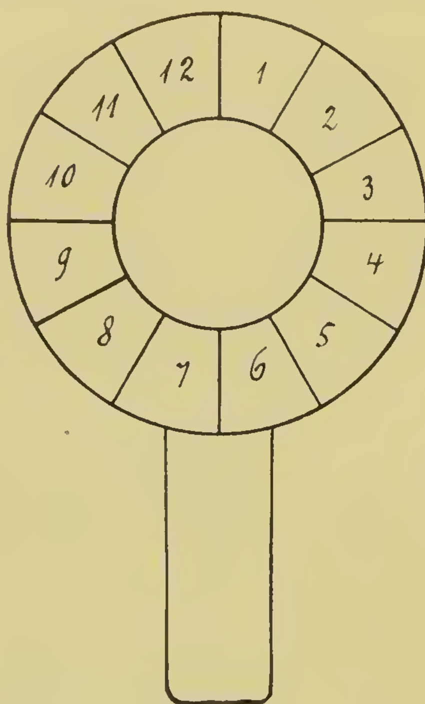


Fig. 30.

Härteskala nach Benoist-Walter

Außer dieser ursprünglichen Benoistschen Härteskala existieren nun aber auch noch zwei Modifikationen derselben, deren erste vom Verfasser herrührt und als Benoist-Walter-Skala oder auch kurz als B W-Skala bezeichnet wird. Eine Nachprüfung der Benoistschen Skala zeigte nämlich einerseits, daß Röntgenröhren mit einer Strahlung von über 8 B und unter 2 B überhaupt nicht existieren, und

daß andererseits auch die Abstufung der Skala in den unteren Feldnummern von 2 bis 4 B eine sehr viel gröbere ist als in den oberen zwischen 6 und 8 B. Deshalb wurde die Skala vom Verfasser dahin abgeändert, daß in derselben — unter Beibehaltung des mittleren, 0,11 mm dicken Silberbleches — zunächst statt der zwölf äußeren Aluminiumfelder nur deren sechs verwandt, d. h. immer je zwei der Benoistschen Felder zu einem einzigen zusammengezogen wurden. Ferner wurde die Dicke der Aluminiumfelder nicht wie in der ursprünglichen Benoistschen Skala nach einer arithmetischen Reihe erster, sondern nach einer solchen zweiter Ordnung abgestuft, d. h. es sind in der BW-Skala nicht die Differenzen der Dicken selbst, sondern erst die Differenzen dieser Differenzen konstant. Die Dicke des Aluminiums in den sechs Feldern dieser Skala beträgt nämlich bzw. 2,0, 2,4, 3,2, 4,4, 6,0 und 8,0 mm.



Fig. 31.

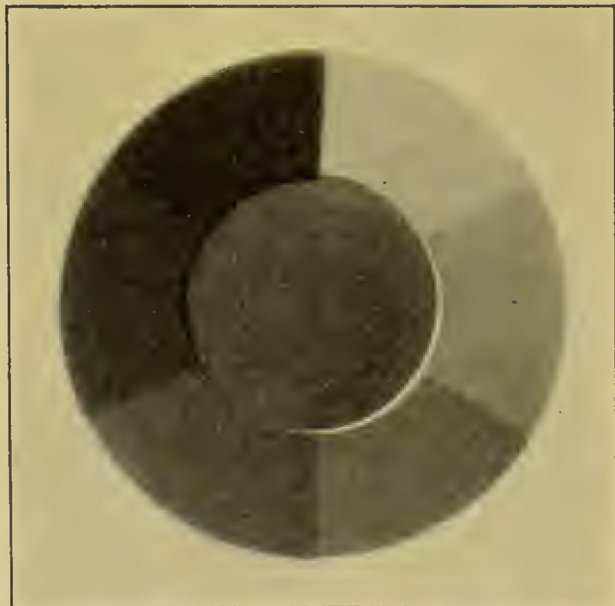


Fig. 32.

Daß man auf diese Weise tatsächlich eine nahezu vollkommen gleichmäßige Abstufung der Felder gegeneinander erhält, ersieht man aus den beiden, hier in den Figg. 31 und 32 in natürlicher Größe wiedergegebenen Durchleuchtungsbildern einer solchen Skala, die mit zwei verschieden harten Strahlungen erhalten sind, und die zugleich einen Begriff von der bei diesen Skalen benutzten Numerierungsmethode geben. Die Feldnummer wird nämlich hier ähnlich wie bei den Ziffern der Uhr von der Trennungslinie des höchsten und niedrigsten Feldes aus nach rechts herum gerechnet, so daß man also die Skala stets

so in die Hand zu nehmen hat, daß jene Linie nach oben zeigt, wie dies auch in den beiden Figuren der Fall ist. Durch Abzählen nach rechts herum sieht man dann, daß in Fig. 31 das mittlere Feld gleich hell mit dem fünften Außenfelde ist, während seine Helligkeit in Fig. 32 zwischen der des dritten und vierten Außenfeldes und zwar dem letzteren etwas näher liegt als dem ersteren. Bei Fig. 31 war demnach die Härte der in Frage kommenden Strahlung gleich 5 B W, bei Fig. 32 dagegen etwa $3^3/_4$ B W.

Die Angaben dieser B W-Skala lassen sich übrigens direkt auf solche der ursprünglichen Benoist-Skala umrechnen; denn die Dicke des mittleren Silberbleches ist ja bei beiden die gleiche. Nach den obigen Angaben über die Dicke der Aluminiumfelder in beiden Skalen ist z. B. die Härte 5 B W gleichbedeutend mit 6 B und ferner $3^3/_4$ B W nahezu identisch mit 4 B usw. Im übrigen wird aber auch weiter unten eine Tabelle angegeben werden, aus der man die Angaben der hauptsächlichsten, gegenwärtig im Gebrauche befindlichen Härteskalen unmittelbar aufeinander reduzieren kann.

Wehnelt-Skala

Zunächst ist jedoch noch einer andern Umbildung der ursprüng-

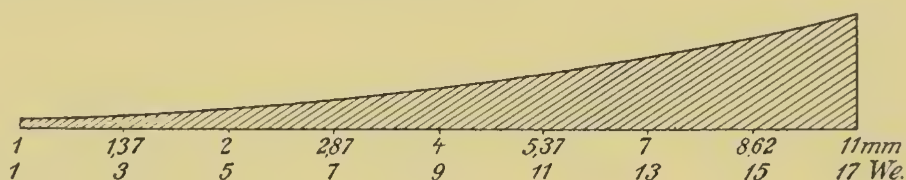


Fig. 33.

lichen Benoistschen Härteskala zu gedenken, welche von Wehnelt herrührt und von Reiniger, Gebbert und Schall in Erlangen hergestellt wird. Jener Physiker änderte nämlich auch die ganze äußere Anordnung der Felder jener Skala ab — und zwar aus dem Grunde, weil nach seiner Ansicht das Auge des Beobachters durch die vielen nebeneinander liegenden Felder verschiedener Helligkeit gestört wird. In der Wehnelt-Skala sind deshalb gewissermaßen die überflüssigen Felder der Benoist-Skala abgeblendet, was in der Praxis in der Weise erreicht wird, daß die untere Hälfte eines etwa 5 mm breiten und 2 cm hohen Ausschnittes einer Bleiplatte durch eine Silberplatte von 0,09 mm Dicke bedeckt wird, während sich vor der oberen Hälfte desselben ein 16 cm langer Aluminiumkeil vorbeibewegen läßt, dessen Dicke der Länge nach allmählich von 1 mm bis zu 11 mm zunimmt und zwar nach einer sog. logarithmischen Kurve. Der Keil hat also von der Seite gesehen etwa das Aussehen der Fig. 33, wozu jedoch zu bemerken ist, daß er in Wirklichkeit doppelt so lang ist wie in der Figur, während darin die Dicken des Aluminiums in ihrer wirklichen Größe dargestellt

und auch durch die in der ersten Reihe unter dem Keil stehenden Ziffern angegeben sind. Die Zahlen der zweiten Reihe dagegen bedeuten die zugehörigen Nummern dieser Skala.

Bei der Messung hat man nun den Aluminiumkeil mit Hilfe eines drehbaren Knopfes so lange zu verschieben, bis die untere und obere Hälfte des auf diesem Leuchtschirm sichtbaren Feldes gleich hell sind, worauf man die zugehörige Härte auf einer an dem Instrument befindlichen Skala abliest.

Es läßt sich nun wohl nicht leugnen, daß man das Durchdringungsvermögen der Röntgenstrahlen einer Röhre mit dieser Skala vielleicht noch etwas genauer bestimmen kann als mit den vorher beschriebenen; andererseits sind aber die Messungen mit der ersteren auch wieder ganz erheblich viel mühseliger; und als ein weiterer Nachteil derselben erscheint auch noch der Umstand, daß man, um die Skalennummer zu erfahren, stets noch erst einer besonderen Beleuchtung bedarf, während die Benoistsche Anordnung diese Nummer ohne weiteres ergibt. In der ursprünglichen Form derselben waren die Felder allerdings nur verhältnismäßig klein und auch die Gegensätze der Helligkeit der einzelnen Felder zum Teil sehr schroff, so daß hier der von Wehnelt gerügte Fehler tatsächlich ziemlich störend war; in der BW-Skala dagegen sind jedoch auch diese Fehler ganz bedeutend vermindert, wie ja auch schon die Figg. 31 und 32 ohne weiteres erkennen lassen.

Zum Schlusse dieses Kapitels möge hier noch eine Zusammenstellung der sich einander entsprechenden Nummern der obenbeschriebenen Härteskalen gegeben werden, wobei zugleich die

Skala	Bezeichnung	Skalennummern							
Benoist	B	2	$2\frac{1}{2}$	3	4	5	6	7	8
Benoist-Walter	BW	1	2	3	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6
Wehnelt	We	1,8	3,3	4,9	6,5	7,3	8,0	8,8	9,6
Walter	W	2—3	3—4	4—5	5—6	6	6—7	7	7—8
Funkenlänge der Röhre in cm		1—4	3—6	5—10	6—12	7—15	8—18	10—25	12—30
Indikation:			Zähne, Hände, Lux. cox von Säuglingen, Thorax von Kindern.		Thorax von Erwachsenen, Extremitäten, Schädel, Hals, Schultern, bei normalen Personen auch Becken, Hüftgelenk, Wirbelsäule und Nierensteine.		Becken, Hüftgelenk, Wirbelsäule und Nierensteine bei korpulenten Personen.		

ungefähren Werte der zugehörigen Funkenlängen der Röhre in Zentimetern sowie auch diejenigen Körperteile angeführt sind, zu deren Durchleuchtung die betreffende Röhrenhärte meistens benutzt wird. Die letzteren Angaben stammen von Albers-Schönberg; die Einreihung der We-Skala ferner gründet sich auf Messungen des Verfassers.

Endlich ist noch zu bemerken, daß man mit den ersten drei Härteskalen dieser Tabelle, die nach dem Benoistschen System arbeiten, natürlich nur das Durchdringungsvermögen solcher Strahlen bestimmen kann, welche das 0,09 bzw. 0,11 mm dicke Silberblech derselben noch zu durchdringen imstande sind, während die vierte, die W-Skala, noch erheblich weichere Strahlen berücksichtigt, Strahlen, die allerdings nur für besondere Fälle, z. B. für die Röntgenographie von Knochenschliffen und Objekten mit sehr feinen Knochen, wie Fischen oder dgl., sowie auch zur Differenzierung in Weichteilen von Bedeutung sind.

---

4. Kapitel.

Die Messung der Wirkung der Röntgenstrahlen.

Die Messung der Wirkung der Röntgenstrahlen ist vor allem bei der therapeutischen Anwendung derselben von Wichtigkeit, insofern hier die Verabreichung einer zu starken Dosis zu beträchtlichen körperlichen Schädigungen des Patienten führen kann, während andererseits die Verteilung der richtigen Dosis auf sehr viele, in längeren Zeiträumen aufeinanderfolgende Einzelbestrahlungen, wie sie in der ersten Zeit der Vorsicht halber angewandt wurde, für Arzt und Patienten eine höchst unnütze Vergeudung von Zeit und Mühe bedeutet. Aber auch in der Röntgenographie ist die Messung der Stärke der von der Röhre ausgehenden Strahlung von großer Bedeutung, insofern man dadurch in die Lage versetzt wird, die Expositionszeit, welche unter den gewählten Umständen zur Erzielung eines möglichst guten Bildes notwendig ist, jedesmal sicher im voraus zu bestimmen. Es erscheint somit notwendig, die hauptsächlichsten zur Messung der Wirkung der Röntgenstrahlen dienenden Verfahren hier etwas eingehender zu behandeln.

Dabei ist nun von vornherein zwischen den direkten und den indirekten Verfahren zu unterscheiden. Bei denjenigen der ersteren Art wird nämlich die Wirkung der Strahlung auf den zu behandelnden Körperteil direkt durch ihre Wirkung auf einen ihr gleichzeitig

ausgesetzten Stoff, einen sog. „Reagenzkörper“, gemessen, der natürlich die Eigenschaft besitzen muß, unter der Einwirkung der Strahlen nach und nach ganz bestimmte Veränderungen zu erleiden. Bei den indirekten Meßverfahren dagegen wird eine mit der wirksamen Röntgenstrahlung nur indirekt zusammenhängende Erscheinung, wie beispielsweise die Stärke des durch die Röntgenröhre gehenden elektrischen Stromes oder auch die Erwärmung eines bestimmten Teiles ihrer Glaswand oder dergl., zur Messung benutzt.

Von diesen beiden Hauptgruppen der Dosierungsmethoden unserer Strahlung verdienen nun allerdings die direkten insofern den Vorzug, als hierbei etwaige Ungleichmäßigkeiten der Strahlung — sowohl in bezug auf Härte wie auf Intensität —, wie sie ja zumal für den Anfänger schwer zu vermeiden sind, keinen großen Schaden anrichten können, da ja der Reagenzkörper von ihnen ebensogut betroffen wird wie das zu bestrahlende Organ. Nichtsdestoweniger werden wir aber doch sehen, daß die bisher bekannten Verfahren dieser Art doch nur sehr ungenau und meistens sehr umständlich sind, so daß das zuerst genannte indirekte Verfahren: das der Messung der durch die Röhre gehenden elektrischen Stromstärke nämlich, sie doch allmählich vollständig verdrängen dürfte, zumal es das einzige ist, welches nicht bloß zur therapeutischen Dosierung, sondern auch für jede beliebige röntgenographische Aufnahme benutzt werden kann, und welches auch bei gehöriger Übung nicht bloß viel genauer, sondern auch viel bequemer arbeitet als alle direkten Methoden.

Holzknechtsches Dosierungsverfahren

Was nun aber die Meßverfahren im einzelnen anbetrifft, so war das älteste derselben, das von G. Holzknecht in Wien herrührte, ein unmittelbares und auch ausschließlich für die therapeutische Verwendung der Strahlen bestimmt. Das betreffende Instrument ist allerdings nicht mehr im Handel zu haben; nichtsdestoweniger möge es hier doch noch kurz beschrieben werden, weil auch gegenwärtig noch vielfach auf die von Holzknecht eingeführte Einheit Bezug genommen wird. Der genannte Röntgenologe suchte zur Bestimmung der Wirkung der Röntgenstrahlen nach einer Substanz, deren Farbe sich unter dem Einfluß dieses Agens ändert und fand solche Stoffe tatsächlich in gewissen Salzen der Alkalien, von denen man übrigens bereits wußte, daß sie unter dem Einflusse der Kathodenstrahlen, d. h. also innerhalb der Röhre, eigenartige Färbungen annehmen. Der bei dem Holzknechtschen Meßverfahren benutzte Reagenzkörper, der nach der seinerzeit veröffentlichten Beschreibung des Erfinders aus Kaliumsulfat bestand, das mit 0,7 % Natriumkarbonat zusammengeschmolzen war, nahm bei längerer Behandlung mit Röntgenstrahlen an Stelle seiner ursprünglichen hellbraunen Farbe allmählich einen immer mehr

grünlichen Ton an, um schließlich in ein fast reines Grün überzugehen. Die Salzprobe wurde in der Praxis direkt neben die zu bestrahlende Körperstelle gelegt, und der Arzt hatte nun nichts weiter zu tun, als die Probe von Zeit zu Zeit mit einer Skala zu vergleichen, in der die verschiedenen Farben, welche die Probe bei der Bestrahlung überhaupt anzunehmen vermochte, in fortschreitender Reihenfolge nebeneinander dargestellt waren. Die zwölf Felder der Skala waren der Reihe nach mit den Zahlen 0, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 16, 20 und 24 bezeichnet, wobei jede dieser Zahlen diejenige Strahlenmenge angab, welche der bestrahlte Körperteil bereits erhalten hatte, wenn der daneben liegende Reagenzkörper die Farbe des zugehörigen Feldes der Skala angenommen hatte. Als Einheit diente dabei eine vom Erfinder mit 1 *H* bezeichnete, willkürlich gewählte Größe, die dadurch gekennzeichnet ist, daß eine Dosis 3—5 *H* eine Dermatitis ersten Grades (leichtes Erythem, unkomplizierten Haarausfall) erzeugt, eine Dosis, die man in der Regel als „Erythemdose“ bezeichnet.

Das Holzknechtsche Verfahren litt nun aber vor allem an dem Übelstande, daß es in der vom Erfinder vorgeschlagenen Form zu unempfindlich war; denn gerade in den für die Praxis wichtigsten Bezirken von 3—5 *H* war die Veränderung der Farbe des Reagenzkörpers noch eine so schwache, daß sich die verabreichten Dosen auf diese Weise nur sehr unsicher bestimmen ließen. Um diesem Übelstand abzuhelfen, schlugen Sabouraud und Noiré vor, den Reagenzkörper nur halb so weit vom Brennfleck der Röhre entfernt anzubringen wie die zu bestrahlende Haut, denn durch diese Maßregel erhielt der erstere natürlich eine viermal so große Strahlenmenge wie die letztere, so daß die Genauigkeit des Verfahrens hierdurch sozusagen vervierfacht wurde, wenn dasselbe allerdings auch andererseits — wegen der jetzt vorzunehmenden zwei Abstandsmessungen — wieder etwas umständlicher wurde.

Verfahren von Sabouraud und Noiré

Eine zweite Änderung, welche Sabouraud und Noiré mit der Holzknechtschen Dosierungsmethode vornahmen, besteht darin, daß sie den nicht im Handel befindlichen Reagenzkörper der letzteren durch das leichter erhältliche und daher auch wohl gleichmäßiger arbeitende Bariumplatincyanür ersetzten; denn auch die Farbe dieser Substanz geht ja, wie schon in Kap. 1 S. 17 erwähnt wurde, bei längerer Einwirkung von Röntgenstrahlen allmählich von ihrem Hellgrün in Hellgelb, Gelbbraun und zuletzt sogar in Rot über. Die Reagenzkörper von Sabouraud und Noiré stellen daher im Grunde genommen nichts anderes als kleine Teile eines Bariumplatincyanürschirmes dar; immerhin kann man aber doch nicht ohne weiteres Stücke eines jeden beliebigen solchen

Schirmes dazu benutzen; denn der Grad der Färbung hängt auch etwas von der Stärke der Lackierung des Schirmes ab. Diese Tatsache wird verständlicher, wenn man berücksichtigt, daß nach Bordier (s. Fortschr. Bd. 8 p. 455) die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Bariumplatincyanür in einer Wasserentziehung bestehen soll. Bei Versuchen des Verfassers färbten sich allerdings stärker lackierte Stücke etwas mehr als schwächer gefirnißte, während man auf Grund dieser Bordierschen Theorie doch eigentlich das Gegenteil erwarten sollte. Wie dem auch sei, jedenfalls ist es nicht ganz gleichgültig, wie das ursprüngliche Salz beschaffen ist; und daher geben denn auch Sabouraud und Noiré jeder ihrer, in Taschenbuchformat gelieferten Serie von Reagenzkörpern zunächst eine Normalfarbe *A* mit, mit der die einzelnen Körper hinsichtlich Farbe und Lackierung übereinstimmen müssen. Außer dieser Normalfarbe *A* befindet sich in dem Buch nur noch eine zweite solche Farbe *B*, die der Erythemdose entspricht, d. h. diejenige gelbbraune Färbung darstellt, welche der zur Messung dienende Reagenzkörper bei der Bestrahlung nicht überschreiten darf, wenn man nicht auf der in doppeltem Abstande vom Fokus befindlichen Haut eine stärkere Entzündung oder dauernden Haarausfall hervorrufen will.

Beim Vergleich der Farbe des bestrahlten Körpers mit der der beiden Normalfarben, die man ja während der Bestrahlung von Zeit zu Zeit vorzunehmen hat, legt man den ersteren am besten mitten auf die letzteren. Der Vergleich muß ferner, der besseren Farbenunterscheidung wegen, bei Tageslicht geschehen, darf jedoch nicht zu oft wiederholt und auch nicht zu lange ausgedehnt werden, da die Färbung des Reagenzkörpers am Tageslichte allmählich von selbst wieder zurückgeht. Auch wird man deswegen das letztere selbst nach Möglichkeit abdämpfen, und es bei der Bestrahlung natürlich vollständig ausschließen. Andererseits ist aber das Phosphoreszenzlicht der Glaswand der Röntgenröhre unschädlich, so daß es daher nicht nötig ist, den zu bestrahlenden Körper in schwarzes Papier einzuwickeln. Dieses Verhalten wird verständlich, wenn man bedenkt, daß ja auch schon der Körper selbst während der Bestrahlung sehr stark leuchtet — und zwar annähernd in demselben gelbgrünen Licht wie die Glaswand der Röhre —, so daß daher die Einflußlosigkeit des letzteren Lichtes nicht weiter überraschen kann.

Der Umstand, daß ein solches, durch Röntgenstrahlen gefärbtes Bariumplatincyanürstück am Tageslichte seine ursprüngliche Farbe allmählich wieder annimmt, ist andererseits insofern von Vorteil, als man denselben Körper mehrmals benutzen kann; jedoch muß man sich vorher durch Vergleich mit der Normalfarbe *A* über-

zeugen, ob der Körper dieselbe auch wirklich schon wieder erreicht hat, was selbst am hellen Tageslichte mehrere Tage dauert.

Des weiteren ist bei dieser Anwendung des Bariumplatincyanürs noch zu beachten, daß die Verfärbung desselben auch durch stärkere Erwärmung bewirkt wird, so daß man daher den Reagenzkörper stets in mindestens 2 cm Abstand von der Glaswand der Röhre anbringen soll, eine Vorschrift, die zumal bei größeren Röhren einen ziemlich großen Abstand der Haut vom Fokus bedingt und daher unter Umständen eine verhältnismäßig große Vergeudung von Röntgenenergie bedeutet. Schließlich ist noch zu erwähnen, daß man die nicht in Frage kommenden Reagenzkörper natürlich sorgfältig vor Röntgenstrahlen zu schützen hat, so daß man sie daher am besten bei seinen photographischen Platten aufbewahrt.

Kienböcksches Dosierungsverfahren

Ein drittes, direktes Verfahren zur therapeutischen Dosierung der Röntgenstrahlen wurde von R. Kienböck in Wien ausgearbeitet. Derselbe benutzt als Reagenzkörper schwach empfindliches Bromsilberpapier, eine Substanz, die trotz ihrer schwachen photographischen Empfindlichkeit doch noch immer sehr viel empfindlicher ist als die bisher beschriebenen Reagenzkörper und daher natürlich auch erheblich genauer arbeitet als diese.

Ein zweiter Vorzug des Kienböckschen Verfahrens gegenüber demjenigen von Sabouraud und Noiré besteht darin, daß der Reagenzkörper des ersteren — eben wegen seiner viel größeren Empfindlichkeit — nicht mehr auf dem halben Abstand vom Fokus angebracht zu werden braucht wie die zu bestrahlende Körperstelle, sondern vielmehr unmittelbar neben oder auch sogar direkt auf die letztere gelegt werden kann. Die Absorption der Strahlen in dem Bromsilberpapier — sowie auch in dem schwarzen Einschlagepapier, in welches dieser Reagenzkörper natürlich verpackt werden muß —, ist nämlich so gering, daß dasselbe der von ihm bedeckten Stelle so gut wie keine Strahlung entzieht, während ein Körper von Sabouraud und Noiré etwa die Hälfte davon zurückhält.

Ein weiterer Vorteil des Kienböckschen Verfahrens besteht darin, daß man bei demselben, da ja Körperstelle und Reagenzkörper sich in gleichem Abstande vom Fokus befinden, die erstere auch nicht soweit von der Röhre zu entfernen braucht wie bei Sabouraud und Noiré und daher dann sein Ziel in erheblich kürzerer Zeit erreicht. Dieser Vorzug kommt besonders bei der Bestrahlung oberflächlich liegender Körperstellen in Betracht, die ja auch gegenwärtig wohl noch weitaus die Mehrzahl der behandelten Fälle bilden, und die man nun mit dem Kienböckschen Reagenzkörper bis auf einige Zentimeter Abstand an die Glas-

oberfläche der Röhre heranbringen kann. Man braucht nämlich hierbei nur soweit von der genannten Oberfläche entfernt zu bleiben, daß auf das Reagenzpapier keine Funkenentladungen übergehen. Bei der Bestrahlung tieferliegender Organe allerdings wird man, um die davorliegende Haut zu schonen, doch in der Regel einen erheblich größeren Abstand von der Röhre innehalten müssen, so daß in diesem Falle der in Rede stehende Vorzug des Kienböckschen Verfahrens hinfällig wird.

Den genannten großen Vorzügen dieser, von seinem Urheber als „Quantimeterverfahren“ bezeichneten Dosierungsmethode stehen nun allerdings auch wieder einige nicht unwesentliche Nachteile gegenüber. Zunächst nämlich der, daß man hierbei, um die verabreichte Dosis zu erfahren, das mitbestrahlte Papierstück stets erst in einem photographischen Entwickler von bestimmter Zusammensetzung und bestimmter Temperatur eine bestimmte Zeit lang entwickeln und dann fixieren muß; ja, wenn man ganz genau arbeiten will, soll man sogar bei jeder neuen Papiersendung erst die Empfindlichkeit derselben, die sich von einer Probe zur andern etwas ändert, mit einer Normallampe bestimmen[1]). Der wesentlichste Nachteil des Kienböckschen Verfahrens gegenüber demjenigen von Sabouraud und Noiré besteht aber darin, daß man bei jenem nicht wie bei diesem die verabreichte Dosis jederzeit während der Bestrahlung beurteilen kann, sondern dieselbe in der Regel erst nach derselben erfährt, wo es unter Umständen zu spät sein kann. Darum dürfte auch die Kienböcksche Methode zumal dort zu empfehlen sein, wo man aus irgendwelchen Gründen die wirksame Dosis nicht gleich in einer Sitzung geben will; denn die dann nötige Bestimmung der Summe der in den verschiedenen Einzelsitzungen gegebenen Strahlenmengen läßt sich natürlich mit diesem Verfahren in sehr viel genauerer Weise ermitteln als mit den früher beschriebenen. Dort jedoch, wo die wirksame Dosis auf einmal gegeben werden kann, scheint es zweckmäßiger, eines dieser letzteren Verfahren zu benutzen, die man übrigens auch, weil dabei der Reagenzkörper im Gegensatz zu dem Kienböckschen offen daliegt, als „offene“ Verfahren bezeichnet. Der große Vorzug dieser letzteren besteht eben darin, daß sie den Untersucher unbedingt gegen erhebliche Überdosierung schützen und dabei nur eine verhältnismäßig geringe Mühe machen, so daß sie sich also besonders auch für den Anfänger empfehlen. Gleichzeitig mit diesem Verfahren aber sollte derselbe stets auch sowohl die Härte

---

[1]) Das Kienböcksche Quantimeter wird von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen in den Handel gebracht.

der Röntgenröhre als auch die Stromstärke beobachten, welche durch die letztere hindurch geht, wie dies bei dem weiter unten zu beschreibenden sog. Milliampèremeterverfahren geschieht. Mit Hilfe dieser beiden Daten wird er nämlich sehr bald zu einer so vollständigen Beherrschung seines Instrumentariums gelangen, daß er dann in der Lage ist, auch die therapeutische Dosierung der Strahlung ohne jeglichen Reagenzkörper, d. h. eben allein auf Grund der Angaben seiner Härteskala und seines Milliampèremeters — vorzunehmen — und zwar mit einer viel größeren Genauigkeit als dies mit irgendeinem der bisher bekannten mittel- oder unmittelbaren Verfahren möglich ist.

Richtige Auslegung des Reagenzkörpers

Ehe wir indessen auf die genauere Beschreibung des Milliampèremeterverfahrens eingehen, sei noch auf einen Punkt hingewiesen, der bei Benutzung eines der bisher behandelten unmittelbaren Verfahren zu berücksichtigen ist: der Umstand nämlich, daß die Strahlung der Röntgenröhre für die verschiedenen, von der Antikathode ausgehenden Emissionsrichtungen oft eine recht ungleiche Stärke hat. Diese Ungleichmäßigkeit kann nämlich bei diesen Meßverfahren, wenn der Untersucher sie nicht berücksichtigt, zur Folge haben, daß die zu bestrahlende Körperstelle entweder eine viel größere oder auch eine viel kleinere Strahlenmenge erhält, als der Reagens körper angibt.

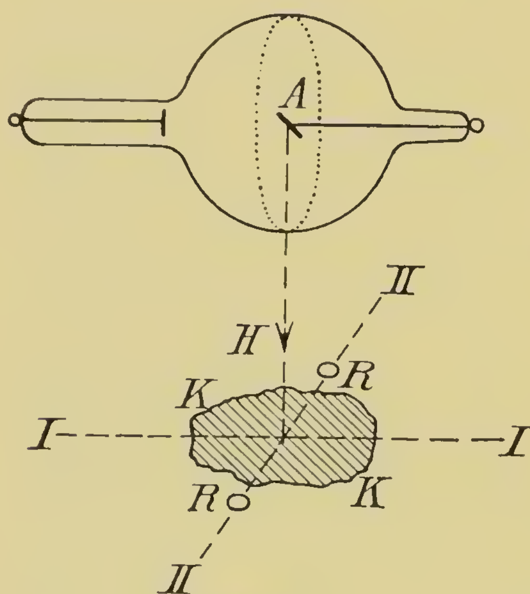


Fig. 34.

Zur Vermeidung dieses Fehlers haben wir uns nun aus Kap. 1 daran zu erinnern, daß die ungleiche Stärke der Strahlung einer Röntgenröhre nach den verschiedenen Emissionsrichtungen hin in erster Linie durch die ungleiche Dicke ihrer Glaswand veranlaßt wird, und daß diese Ungleichmäßigkeit in der Regel am größten in ihrem ersten Hauptschnitt ist, der durch den in Fig. 34 in ausgezogenen Linien dargestellten Umriß derselben gebildet wird, am kleinsten dagegen in ihrem zweiten Hauptschnitt, der in dieser Figur perspektivisch durch die um die Kugel der Röhre herumgelegte, punktierte Ellipse angedeutet ist und aus dieser Kugel durch diejenige Ebene herausgeschnitten wird, welche im Brennfleck der Röhre senkrecht auf dem ersten Hauptschnitt steht. Um demnach den in Rede stehenden Fehler nach Möglichkeit zu vermeiden, wird man zunächst die Mitte des zu bestrahlenden Körperteiles, der in Fig. 34

perspektivisch durch die schraffierte Fläche *KK* dargestellt ist, möglichst in die Richtung des Hauptstrahles *AH* der Röhre bringen und dann den Reagenzkörper in der äußeren Verlängerung der Ebene des zweiten Hauptschnittes der Röhre auslegen. Wenn also diese Verlängerung die zu bestrahlende Fläche *KK* in der gestrichelten Linie II—II schneidet, so ist der Reagenzkörper, wenn er direkt neben *KK* angebracht werden muß, an einer derjenigen beiden Stellen auszulegen, welche in Fig. 34 durch die kleinen Kreise *R* angedeutet sind. In dem Falle ferner, wo er nur halb so weit von *A* entfernt sein darf, wie *KK*, ist er natürlich auf einem derjenigen beiden Radien anzubringen, welche von *A* aus nach jenen Kreisen *R* hinzielen.

Der Reagenzkörper mißt aber auch dann selbstverständlich nur die auf ihn fallende Strahlung, die allerdings längs der Linie II—II, wenn der zu bestrahlende Körperteil nicht sehr groß ist, meistenteils annähernd gleichmäßig ist; diejenige längs der Linie I—I dagegen, die vom ersten Hauptschnitt aus *KK* herausgeschnitten wird, wird von der Angabe des Reagenzkörpers mehr oder weniger abweichen — und zwar wird nach dem in Kapitel I Gesagten bei der in Fig. 34 gezeichneten Röhrenstellung besonders der nach links zu liegende Teil von *KK* eine geringere Strahlenmenge erhalten. Man kann aber diese Ungleichmäßigkeit — zum Teil wenigstens — dadurch ausgleichen, daß man nach Verlauf der halben Bestrahlungszeit die Röhre um 180^0 dreht, so daß jetzt ihr Kathodende nach rechts hin schaut und dann also die rechte Seite von *KK* die geringere Strahlenintensität erhält. Eine vollständige Ausgleichung der Verschiedenheiten dieser Intensität wird aber auch hierdurch noch nicht erreicht; denn eine solche würde so spezielle Voraussetzungen über die Veränderung der Glasdicke im ersten Hauptschnitt erfordern, daß dieselben in der Praxis natürlich niemals erfüllt sind. Immerhin sind aber deswegen doch die oben dargelegten, zuerst von Kienböck angegebenen Vorsichtsmaßregeln — zumal bei der Bestrahlung größerer Körperstellen — sehr wohl zu berücksichtigen.

Endlich ist aber in solchen Fällen natürlich auch auf die in Kap. 1 S. 20 dargelegten „geometrischen Wirkungsgesetze“ der Strahlung Rücksicht zu nehmen; denn wenn z. B. eine ebene Fläche von 20 cm Ausdehnung zu bestrahlen ist, so erhält der Rand derselben wegen seines größeren Abstandes vom Fokus der Röhre natürlich stets eine erheblich geringere Strahlungsintensität als die Mitte, und zwar eine relativ um so geringere, je mehr man sich der Röhre nähert. Ebenso erhalten auch Flächen, die schief zur Ausbreitungsrichtung der Strahlen liegen, stets weniger Energie als senkrecht darauf stehende.

Dosierung mit Milliampèremeter

Kommen wir sodann zu den indirekten Verfahren zur Bestimmung der Wirkung der Röntgenstrahlen, so kommt nun von diesen in erster Linie jedenfalls das bereits erwähnte Milliampèremeterverfahren in Betracht. Dasselbe beruht auf der Messung des durch die Röntgenröhre selbst gehenden elektrischen Stromes, dessen Stärke nämlich in der Regel um 1 Milliampère herum liegt, und daher auch stets in dieser Größenordnung ausgedrückt wird. Dieses Verfahren wurde zuerst von Gaiffe in die Röntgentechnik eingeführt, und derselbe zeigte auch schon, daß die Wirkung einer Röntgenröhre auf die photographische Platte bei der von ihm benutzten Betriebsart der ersteren mit hochtransformiertem Wechselstrom genau proportional mit dem Ausschlage seines Instrumentes geht, so daß man also z. B. bei doppeltem Ausschlag desselben unter sonst gleichen Umständen, d. h. also bei gleichem Abstand vom Fokus der Röhre und bei gleicher Härte der letzteren, nur halb so lange zu bestrahlen braucht, um dieselbe Wirkung zu erhalten.

Vom Verfasser wurde dann später gezeigt, daß das gleiche auch dann gilt, wenn man die Röntgenröhre mit einem Induktionsapparat betreibt, und daß in diesem Falle auch die Größe dieses letzteren Instrumentes sowie auch die Größe der Zahl der Windungen seiner primären Spule, sowie ferner auch die Art und die Tourenzahl des zu seinem Betriebe benutzten Unterbrechers gleichgültig ist, daß man aber doch in allen Fällen gewisse Vorsichtsmaßregeln zu beobachten hat, auf die wir weiter unten zurückkommen werden.

Zunächst mögen hier jedoch kurz die theoretischen Grundlagen dieses Meßverfahrens besprochen werden, die in diesem Falle von besonderer Wichtigkeit sind.

Im ersten Augenblick erscheint es nämlich im höchsten Grade überraschend, daß die Wirkung einer so außerordentlich veränderlichen Größe, wie es ja die durch die Röntgenröhre gehende Stromstärke bei den verschiedenen in der Praxis zu ihrem Betriebe dienenden Hochspannungsapparaten darstellt, mit irgend einem Meßinstrument auch nur annähernd bestimmt werden kann. Diese Möglichkeit, die ja übrigens nach dem Obigen bereits durch die Praxis erwiesen ist, erklärt sich nun aber auch theoretisch sehr leicht, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die in einer Röntgenröhre in einem beliebigen Zeitraum erzeugte Röntgenstrahlenmenge direkt proportional der in der betreffenden Zeit von der Kathode der Röhre in Form von Kathodenstrahlen nach der Antikathode hinübergeschleuderten Elektrizitätsmenge sein muß; und daß es dabei gleichgültig ist, ob diese Elektrizitätsmenge in einem einzigen kontinuierlichen Zuge von stets gleich bleibender Stärke, oder

aber, wie es ja in der Praxis stets der Fall ist, in Form mehr oder weniger unregelmäßiger Stöße hinübergeschleudert wird.

Um demnach die in der Röntgenröhre in einer bestimmten Zeit entstehende Röntgenstrahlenmenge zu messen, kommt es lediglich darauf an, Instrumente zu finden, welche die gesamte, durch sie in einem beliebigen Zeitraum hindurchfließende Elektrizitätsmenge auch dann noch richtig angeben, wenn dieselbe nicht bloß in einem immer gleich bleibenden Strom, d. h. also als sogenannter Gleichstrom, durch sie hindurchgeht, sondern auch dann noch, wenn sie stoßweise hindurchströmt. Solcher Instrumente gibt es aber tatsächlich mehrere Arten.

Die einfachsten unter ihnen sind die sogenannten Voltameter, in denen bekanntlich die elektrolytische Wirkung des elektrischen Stromes benutzt wird, und von denen für uns besonders das Knallgasvoltameter in Frage kommt. Auch in diesem Instrument ist nämlich die in einem beliebigen Zeitraum entwickelte Gasmenge direkt proportional der in der betreffenden Zeit hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge; und es ist auch bei ihm vollständig gleichgültig, ob dieser Durchgang in einem gleichmäßigen Zuge oder aber in unregelmäßigen Stößen erfolgt. Die experimentelle Brauchbarkeit dieses Apparates für unsern Zweck wurde auch tatsächlich bereits vom Verfasser in den Verhandl. der Deutschen Röntgengesellsch. (Bd. III, p. 106. 1907.) nachgewiesen und gleichzeitig auch hervorgehoben, daß diese Methode sogar einfacher ist, als das hier zu beschreibende Milliampèremeterverfahren, indem die in dem Voltameter angesammelte Gasmenge jederzeit gleich die gesamte bis dahin verabreichte Strahlenmenge angibt, so daß man hierbei die Zeitdauer der Bestrahlung überhaupt nicht zu berücksichtigen braucht. Voltameter

Andererseits ist nun aber doch das Milliampèremeterverfahren, zu dem wir uns jetzt wenden, nicht bloß erheblich genauer sondern auch in mancher Beziehung wieder erheblich einfacher, als das voltametrische, so daß man die ja so überaus einfache Messung der Bestrahlungszeit, die in diesem Falle noch notwendig ist, gern mit in den Kauf nehmen wird.

Von den Milliampèremetern sind nun aber für unsern Zweck, wie wir später sehen werden, durchaus nicht alle Arten brauchbar, sondern nur das zuerst von Gaiffe eingeführte, auf elektromagnetischer Grundlage beruhende Instrument. Dasselbe wird übrigens gegenwärtig zum Unterschied von anderen, zur Strommessung dienenden Instrumenten gewöhnlich als „Drehspulinstrument“ bezeichnet, da es nämlich in der Hauptsache aus einer kleinen Drahtspule besteht, welche zwischen den beiden Polen eines starken Hufeisenmagneten drehbar angeordnet ist, und durch Drehspul-Milliampèremeter

welche der zu messende Strom hindurchgeschickt wird. Diese Konstruktion bedingt nun, daß ein durch die Spule hindurchgeschickter elektrischer Gleichstrom einen Ausschlag bewirkt, welcher genau proportional mit der ersten Potenz der Stromstärke steigt, was man auch schon äußerlich daran erkennt, daß die Teilstriche dieser Instrumente in der ganzen Skala überall denselben Abstand haben.

In Wirklichkeit freilich ist es bei diesen Instrumenten nicht eigentlich der Strom, welcher die Drehung ihrer beweglichen Spule bewirkt, sondern vielmehr wieder die durch sie hindurchfließende Elektrizitätsmenge, d. h. das Produkt aus dem Strom und der Zeit, während welcher er fließt; denn die Stromstärke bedeutet, genau genommen, den Quotienten aus der durch den Stromkreis geflossenen Elektrizitätsmenge Q, dividiert durch die zugehörige Fließzeit t, d. h. es ist der Strom

1) $$i = \frac{Q}{t}.$$

Drückt man t wie gewöhnlich in Sekunden aus, so ist also i die in der Sekunde durch den Stromkreis gegangene Elektrizitätsmenge; und genau genommen ist es also diese Menge, welche ein zur Messung von Stromstärken dienendes Instrument angibt. Erst dadurch aber, daß man diese Stromstärke i mit der Fließzeit t multipliziert, erhält man etwas Wirkliches, nämlich die in dieser ganzen Zeit t durch den Stromkreis gegangene Elektrizitätsmenge, um die es sich ja nach dem Obigen auch in der Röntgentechnik handelt. Aus der Gleichung 1) folgt nämlich ohne weiteres

2) $$Q = i\,t.$$

Diese beiden Gleichungen 1) und 2) gelten nun zunächst allerdings nur für einen konstant bleibenden Strom; indessen lassen sich dieselben auch leicht auf veränderliche Ströme erweitern. Denn wenn z. B. die unregelmäßige Kurve $ABCDE$ (Fig. 35) den Verlauf eines beliebig veränderlichen Stromstoßes darstellt, wobei in bekannter Weise die Grundlinie AE die einzelnen Zeitpunkte und der senkrechte Abstand irgend eines dieser Punkte von der Kurve die Größe des Stromes in diesem Augenblick bedeutet, so kann in dem sehr kurzen, zwischen F und G gelegenen Zeitraum die Stromstärke annähernd als konstant angesehen werden, und die inzwischen durch den Stromkreis geflossene Elektrizitätsmenge ist mithin nach der Gleichung 2) durch das Produkt aus der Zeit FG und der zugehörigen mittleren Stromhöhe darzustellen. Dieses Produkt ist nun aber nichts anderes als der Flächeninhalt des zwischen den beiden Stromwerten FB und GC gelegenen Flächenstückes, das in der Figur schraffiert worden ist. Führt man nun dieselbe Betrach-

tungsweise für die sämtlichen zwischen A und E liegenden Augenblicke durch, so sieht man, daß die ganze Elektrizitätsmenge, welche während des ganzen in Rede stehenden Stromstoßes von A bis E hin durch den Stromkreis gegangen ist, durch diejenige Fläche dargestellt wird, welche zwischen der ganzen Stromkurve $ABCDE$ und dem zugehörigen Teil der Zeitachse AE gelegen ist. Wenn man nun aber diese Fläche durch die zugehörige Zeit dividiert, so erhält man eine Größe, die man als die „mittlere Stromstärke" in dieser Zeit bezeichnen kann; und diese Größe stellt nun für

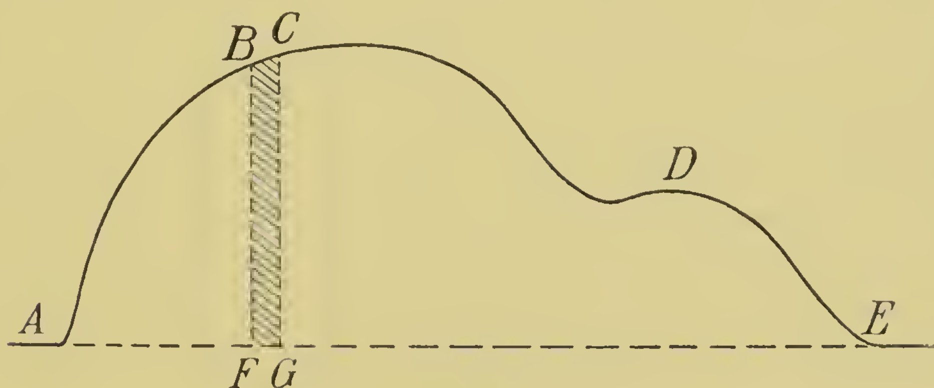


Fig. 35.

einen veränderlichen Strom dasselbe dar, was für einen konstanten Strom die Stromstärke im gewöhnlichen Sinne bedeutet, denn auch sie gibt, mit der zugehörigen Fließzeit multipliziert, die inzwischen durch den Stromkreis hindurchgegangene Elektrizitätsmenge.

Im Röntgenbetriebe, wo man ja stets mit solchen einzelnen Stromstößen arbeitet, liegt nun die Dauer derselben, d. h. die zwischen A und E liegende Zeit, meist um $^1/_{1000}$ Sekunde herum; und es folgen hier ferner auch die einzelnen Stöße nicht in ununterbrochener Folge, sondern in Zwischenräumen, die viel länger sind als die ganze Strecke AE; nichtsdestoweniger erhält man aber auch hier die mittlere Stromstärke dadurch, daß man die Summe aller derjenigen Flächenstücke, welche die Stromkurve innerhalb einer bestimmten Zeit t zwischen sich und der Zeitachse bildet, einfach durch diese Zeit t dividiert, denn durch Multiplikation dieser Größe mit der Arbeitszeit erhalten wir wieder die in dieser Zeit durch den Stromkreis gegangene Elektrizitätsmenge.

Diese für die Praxis in Frage kommende mittlere Stromstärke gibt uns nun aber auch das Drehspulmilliampèremeter tatsächlich an; denn die Spule desselben hat eine viel zu langsame Schwingungsdauer, als daß sie den einzelnen, stets in weniger als $^1/_{10}$ Sekunde aufeinanderfolgenden Stromstößen oder gar den starken Veränderungen der Stromstärke innerhalb der einzelnen Stöße folgen könnte. Das Instrument summiert daher gewissermaßen nur die

einzelnen in der Sekunde durch den Stromkreis gegangenen Elektrizitätsmengen; und es ist ihm also ganz gleichgültig, wie der Verlauf der Stromkurve während der einzelnen Stromstöße ist, und wie oft sich die Stöße in der Sekunde wiederholen. Allerdings muß, wenn die Ablenkung der Nadel des Instrumentes einigermaßen konstant bleiben soll, die in der Sekunde durch den Stromkreis hindurchgegangene Elektrizitätsmenge ebenfalls annähernd konstant bleiben, was ja aber auch bei einem geordneten Röntgenbetriebe der Fall ist.

Unbrauchbare Milliampère-meter

Ganz anders dagegen liegen die Verhältnisse bei gewissen anderen, in der Wechselstromtechnik vielfach benutzten Stromanzeigern, den sogenannten Hitzdrahtinstrumenten und den sogenannten Dynamometern, bei denen beiden die Ablenkung des Zeigers nicht wie bei dem oben besprochenen elektromagnetischen Ampèremeter proportional mit der ersten, sondern mit der zweiten Potenz der Stromstärke steigt, und aus deren Ausschlag sich daher bei beliebiger Form der Stromkurve zwar sehr wohl die von dem Strom in irgend einem Drahtwiderstand oder einer Glühlampe erzeugte Wärme, die ja ebenfalls proportional dem Quadrate der Stromstärke zeigt, bestimmen läßt, nicht aber die von ihm transportierte Elektrizitätsmenge, auf die es ja nach dem Obigen in der Röntgentechnik ankommt. Diese Instrumente sind daher auch für uns unbrauchbar. (Näheres s. in den Darlegungen des Verfassers in den Verhandl. d. Deutsch. Röntgenges. Bd. 5.)

Das Drehspulinstrument dagegen gibt uns auch bei beliebiger Stromform die in der Sekunde durch den Stromkreis gehende Elektrizitätsmenge richtig an, eine Größe, die man übrigens bei veränderlicher Stromstärke am besten als den arithmetischen Mittelwert des Stromes, oder noch einfacher als die mittlere Stromstärke bezeichnet, während der von den quadratisch anzeigenden Instrumenten in solchen Fällen angegebene Mittelwert gewöhnlich die effektive Stromstärke heißt.

Einheit der Elektrizitäts-menge

Multipliziert man demnach den vom Drehspulinstrument angegebenen Durchschnittswert des Stromes z. B. mit der Zahl der Minuten, während welcher er durch die Röhre geflossen ist, so erhält man die wirksame Elektrizitätsmenge in sog. „Milliampèreminuten"; und in dieser Einheit wird nun auch für gewöhnlich bei dieser Meßmethode die verabreichte Röntgenstrahlenmenge angegeben. Dabei ist es aber nicht etwa nötig, die Größe des Stromes und die Bestrahlungszeit einzeln aufzuführen; denn bei ordnungsmäßiger Beschaffenheit der Röntgenröhre (s. weiter unten) leistet z. B. ein Strom mit dem Durchschnittswert von 2 Milliampère in ihr in 10 Minuten ebensoviel wie ein solcher von 1 Milliampère in 20 Minuten, so daß es

also nur auf das Produkt aus den Milliampère und den Minuten, d. h. eben nur auf die wirksame Elektrizitätsmenge, ankommt.

Verkehrt gerichtete Ströme

Aber auch die Angaben des Drehspulinstrumentes sind nun in unserem Falle nicht unter allen Umständen richtig, sondern vielmehr nur dann, wenn in dem Stromkreise, in welchem das Instrument und die Röntgenröhre hintereinander eingeschaltet sind, nur Ströme oder Stromstöße einer und derselben Richtung — und zwar nur solcher Richtung auftreten, für welche die Kathode der Röhre negativer Pol ist. In der letzteren erzeugen nämlich nur derartig gerichtete Ströme auch wirklich nutzbare Röntgenstrahlen, während ein verkehrt gerichteter Stromstoß in derselben wirkungslos bleibt. In dem Meßinstrument dagegen ist das letztere nicht der Fall, sondern ein jeder solcher Stoß bewirkt eine im entgegengesetzten Sinne wirkende Ablenkungskraft und verkleinert somit den von den richtig gerichteten Stromstößen herrührenden Ausschlag des Instrumentes, so daß also das letztere in diesem Falle eine geringere Elektrizitätsmenge anzeigt als in der Röhre wirklich in nutzbare Röntgenenergie umgesetzt wird. Solche verkehrt gerichteten Stromstöße sind, wie wir in Kap. 7 sehen werden, besonders bei Induktorbetrieb als sog. Schließungsströme zu befürchten; indessen ist es auch in diesem Falle, wenn es sich nicht gerade um Momentaufnahmen handelt — und das ist bei der therapeutischen Verwendung der Röntgenstrahlen ja niemals der Fall — verhältnismäßig leicht, die verkehrten Ströme auch ohne Drosselröhre zu vermeiden, so daß dann also auch die Angaben des Milliampèremeters durchaus verläßlich sind. Immerhin tut man aber doch in allen Fällen gut, sich durch ein kurzes Einschalten der in Kap. 1 S. 78 beschriebenen Glimmlichtröhre von der gänzlichen Abwesenheit der verkehrt gerichteten Stromstöße zu überzeugen — und zwar nicht bloß bei Induktorbetrieb sondern auch bei allen andern, gegenwärtig in der Röntgentechnik gebrauchten Hochspannungsapparaten; denn auch bei diesen können, wie wir in Kap. 7 sehen werden, unter Umständen verkehrt gerichtete Ströme auftreten. Sehr zweckmäßig sind übrigens hierfür Glimmlichtröhren mit einem metallischen Nebenschluß, der für gewöhnlich den Strom in sich aufnimmt, sich jedoch vermittelst einer isolierenden Handhabe auf kurze Zeit öffnen läßt, während welcher dann der Strom durch die Glimmlichtröhre geht, so daß man also jederzeit, ohne den durch die Röntgenröhre gehenden Strom unterbrechen zu müssen, erkennen kann, ob derselbe mit verkehrt gerichteten Stromstößen untermischt ist oder nicht.

Man kann nun allerdings selbst bei Vorhandensein solcher Stromstöße dadurch zu der richtigen Größe der in der Röntgen-

röhre nutzbar umgesetzten Elektrizitätsmenge gelangen, daß man zugleich mit dem Drehspulinstrument ein Knallgas-Voltameter in den Stromkreis einschaltet; denn das letztere Instrument gibt offenbar die Summe der in dem richtig und der in dem verkehrt gerichteten Strom enthaltenen Elektrizitätsmengen an, das erstere dagegen die Differenz beider, woraus dann folgt, daß das Mittel aus den Angaben beider Instrumente genau die in der richtigen Richtung durch den Stromkreis geflossene Elektrizitätsmenge liefern muß, auf die es uns ja ankommt. Statt des Voltameters kann man aber in diesem Falle nicht etwa ein Hitzdrahtinstrument oder ein Dynamometer, wie vorgeschlagen wurde, benutzen; denn die Angaben dieser Instrumente sind zur Messung der in unterbrochenen Stromstößen kreisenden Elektrizitätsmengen, wie oben dargelegt wurde, durchaus unbrauchbar und können also auch niemals zu richtigen Mittelwerten führen.

Immerhin ist nun aber auch die gleichzeitige Benutzung des elektromagnetischen Instrumentes und des Voltameters ziemlich umständlich; und der einfachere, und auch mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Röntgenröhre vorteilhaftere Weg ist jedenfalls der, solche verkehrt gerichteten Stromstöße ein für allemal von der Röhre fern zu halten.

Aber auch selbst wenn die letztere Bedingung wirklich erfüllt ist, d. h. wenn in dem Stromkreise, in welchem das Milliampèremeter und die Röntgenröhre enthalten sind, nur richtig gerichtete Stromstöße fließen, so genügt die Angabe des Instrumentes für sich allein doch noch nicht, um uns über die Wirkung der von der Röhre ausgehenden Strahlung vollständig zu orientieren; vielmehr sind zu diesem Zwecke noch mehrere andere Umstände in Betracht zu ziehen, die hier noch kurz besprochen werden müssen.

Abstand des Organs

Zunächst ist nämlich außer der Angabe des Instrumentes natürlich auch noch die Entfernung des zu bestrahlenden Organs von dem Ausgangspunkt der Strahlen, dem Brennfleck der Röhre, in Rücksicht zu ziehen, da die Wirkung der Strahlung ja, wie in Kap. 1 näher erläutert ist, quadratisch mit dieser Entfernung abnimmt. Um also z. B. bei 20 cm Abstand unter sonst gleichen Bedingungen die gleiche Wirkung zu erzielen wie bei 10 cm, muß im ersteren Falle eine viermal so große Elektrizitätsmenge durch die Röhre geschickt werden, d. h. also in der Regel viermal so lange bestrahlt werden wie im letzteren. Die Messung des fraglichen Abstandes geschieht wohl am einfachsten so, daß man zunächst mit Hilfe eines um die Kugel der Röhre gelegten Bandes den Umfang u derselben bestimmt, sich daraus den Radius r derselben mit Hilfe der bekannten Gleichung $r = \frac{u}{2\pi}$ berechnet, dann

den Abstand des Organs von der Glaswand der Röhrenkugel — etwa mit Hilfe eines ausziehbaren Bandmaßes — mißt und schließlich diese Länge zu r addiert.

Härte der Röhre

Weiter ist bei der Benutzung des Milliampèremeters zur Dosierung der Röntgenstrahlen noch zu berücksichtigen, daß die Wirkung der Röntgenstrahlung einer Röhre sich auch bei gleichbleibender Angabe des Milliampèremeters und gleichem Abstande des Organs auch noch sehr stark mit der Härte der Röhre, d. h. der an ihren Polen herrschenden elektrischen Spannung, ändert und zwar im allgemeinen mit dieser Spannung steigt. Es ist dies darauf zurückzuführen, daß die der Röhre zugeführte elektrische Energie ebenfalls mit jener Spannung steigt; und so wurde denn von Kromayer (Deutsche Medizin. Wochenschrift 1908 Heft 2) vorgeschlagen, einfach das Produkt aus Stromstärke und Röhrenspannung als Grundlage der Röhrenwirkung zu nehmen, ebenso wie ja auch in der Elektrotechnik die Stromenergie durch das Produkt aus Stromstärke und Spannung dargestellt wird. Die letztere Größe soll dann in unserem Falle einfach durch die Länge der zu der Röhre parallel geschalteten Funkenstrecke gemessen werden; und die Größe der Röntgenstrahlendosis wird dementsprechend in Milliampère-Zentimeter ausgedrückt. Abgesehen nun aber davon, daß die Funkenlänge einer Röntgenröhre selbst bei gleichem Durchdringungsvermögen ihrer Röntgenstrahlen bei verschiedener Betriebsweise derselben oft sehr verschiedene Werte besitzt (näheres s. Kap. 3), so ist gegen diese Meßmethode ferner auch noch das einzuwenden, daß in unserem Falle die an den Polen der Röhre herrschende elektrische Spannung nicht bloß als Faktor für die in ihr geleistete Energie, sondern auch noch insofern in Betracht kommt, als davon auch das Durchdringungsvermögen der aus der Röhre hervorkommenden Röntgenstrahlung und demnach auch der in dem zu bestrahlenden Organ absorbierte Bruchteil derselben abhängt. Aus diesen Gründen erscheint es daher doch als das Richtigste, für jede Röhrenhärte diejenige Elektrizitätsmenge zu ermitteln, welche bei einem bestimmten Fokusabstande zur Erzielung der gewünschten Wirkung in die Röhre hineingeschickt werden muß. Die Resultate einiger darauf abzielender Versuche des Verfassers findet man weiter unten.

Zunächst muß indessen noch darauf hingewiesen werden, daß diese Elektrizitätsmenge auch selbst bei gleicher Röhrenhärte und bei vollständiger Abwesenheit verkehrt gerichteter Ströme doch noch nicht für alle Röhren die gleiche ist, sondern sich auch von einer Röhre zur andern ändert. Die Ursache hierfür ist allgemein darin zu suchen, daß das Milliampèremeter ja nur die in der Röhre

von der Kathode zur Antikathode in Form von Kathodenstrahlen hinübergeschleuderte elektrische Ladung angibt, während in der Praxis die aus der Röhre austretenden Röntgenstrahlen benutzt werden. Nun ist aber zunächst bekannt, daß die aus einer bestimmten Kathodenstrahlenmenge entstehende Röntgenstrahlenmenge ganz erheblich von der Art des festen Körpers abhängig ist, aus welchem die, die erstere Strahlung auffangende Antikathode der Röhre besteht. Ist dieselbe z. B. aus Glas, wie es ja bei den ältesten, nach Art der Fig. 1 auf S. 4 gebauten Röntgenröhren der Fall war, so ist der Ertrag an Röntgenstrahlen ein erheblich geringerer, als wenn die Umsetzung der einen Strahlenart in die andere in einem Metall vor sich geht, wie es ja in den Antikathoden unserer modernen Röntgenröhren stets der Fall ist. Aber auch sogar in diesem Falle ist die Röntgenstrahlenausbeute noch wieder für verschiedene Metalle verschieden und zwar steigt dieselbe im allgemeinen mit dem Atomgewicht des Metalles, so daß sie z. B. für eine Antikathode aus Platin erheblich größer ist als z. B. für eine solche aus Eisen oder Nickel. Dies ist denn auch der Grund, warum in fast allen Röntgenröhren gegenwärtig die vordere Fläche des Antikathodenmetalles platiniert ist, so daß also auch in allen derartigen Röhren bei sonst ordnungsmäßiger Beschaffenheit derselben aus der gleichen Kathodenstrahlenmenge die gleiche Röntgenstrahlenmenge entsteht.

Verschiedenheit der Antikathoden

Verschiedene Dicke der Glaswand

Es kommt aber noch ein zweiter Gesichtspunkt hinzu. Selbst wenn nämlich innerhalb zweier Röntgenröhren die gleiche Röntgenstrahlenintensität erzeugt wird, so braucht deswegen die letztere doch außerhalb derselben noch nicht ebenfalls gleich zu sein, da ja die Dicke der Glaswand der beiden Röhren eine verschiedene sein kann, und dann von dieser Wand natürlich auch verschiedene Bruchteile der innen erzeugten Strahlung hinausgelassen werden. Um von den dadurch bedingten Unterschieden einen Begriff zu geben, ist in der folgenden Tabelle I der von einer bestimmten Dicke *d* des Röhrenglases durchgelassene Prozentsatz von Röntgenstrahlen für die Strahlenhärten 2—5 B. W. nach Versuchen des Verfassers angegeben. (Hier folgt Tab. I von S. 121.)

In der Praxis schwankt nun die Dicke des Glases in den Kugeln der Röntgenröhren, auch wenn wir nur die Gegend in der Nähe des Hauptstrahles (s. S. 6) in Betracht ziehen, bei den am meisten gebrauchten Kugelgrößen von 12—15 cm in der Regel zwischen 0,4 und 0,8 mm, so daß demnach auch schon aus diesem Grunde der Unterschied der Röntgenstrahlung bei der Härte 2 B. W. zwischen 50 und 25, d. h. also um 100 % und bei der Härte 5 B. W. zwischen 66 und 44, d. h. also immer noch um 50 % variieren kann, auch

wenn die innerhalb der Röhren erzeugte Strahlung die gleiche ist. Bei noch größeren Röhrenkugeln muß die Glasdicke schon aus Gründen der Haltbarkeit noch größer genommen werden — für Kugeln von 20 cm Durchmesser z. B. schwankt sie in der Regel zwischen 0,8 und 1,0 mm — so daß also für solche Röhren die Ausbeute noch entsprechend kleiner wird. Allerdings wird dieser Nachteil meistens wieder dadurch ausgeglichen, daß man die größere Röhre auch entsprechend mehr belasten kann, ohne daß sich ihr Härtegrad ändert, so daß man mit ihr in der Regel doch noch schneller zum Ziele gelangt als mit einer kleineren Röhre.

Tabelle I.
Prozentsatz der von der Dicke *d* des Röhrenglases durchgelassenen Röntgenstrahlenintensität.

Röhrenhärte	2	3	4	5	B. W.
d in mm					
0,2	71	74	77	81	
0,3	59	64	67	73	
0,4	50	55	59	66	
0,5	42	48	51	59	
0,6	35	41	45	54	
0,7	30	35	39	48	
0,8	25	30	34	44	
0,9	21	26	30	39	
1,0	18	23	26	35	

Verschiedener Gasinhalt

Die Röntgenleistung verschiedener Röhren — ja sogar auch einer und derselben Röhre — kann schließlich drittens auch noch dadurch eine andere werden, daß der Gasinhalt derselben ein verschiedener ist, also bei einer und derselben Röhre z. B. auch dadurch, daß durch Überlastung derselben aus dem Antikathodenmetall etwaige darin noch vorhandene Spuren von Dämpfen herausgetrieben werden, infolgedessen sich dann in der Röhre meistens hinter ihrer Antikathode ein starkes blaues Licht entwickelt. Auch erscheint es nicht ausgeschlossen, daß auch bei sonst gleicher Beschaffenheit und Betriebsweise zweier Röhren doch je nach der Art der Vakuumregulierung die Röntgenstrahlenausbeute eine andere wird, da ja auch hierdurch ein verschiedener Gasinhalt der Röhren bewirkt werden kann.

Im ersten Augenblick erscheint es also hiernach ziemlich aussichtslos, für jede beliebige in der Praxis benutzte Röntgenröhre die zur Erreichung einer bestimmten Wirkung notwendige Anzahl von Milliampèreminuten schon von vornherein anzugeben, und es ist deshalb von E. H. Schmidt in Berlin, der zuerst auf die verschiedene Wirkung der verschiedenen Röhren hinwies, vorgeschlagen worden, jede neue Röhre zunächst mit Hilfe eines direkten Ver-

fahrens zu eichen, also z. B. die zur Erreichung der Sabouraud und Noiréschen Farbe B unter bestimmten Bedingungen notwendige Milliampèreminutenzahl zu bestimmen. Man könne sich dann, wenn man nur stets unter denselben Bedingungen arbeite wie bei der Eichung, sehr wohl auf das Milliampèremeter verlassen.

Gegen diesen Vorschlag ist natürlich nichts einzuwenden; indessen zeigt nun doch eine nähere Untersuchung der Wirkung verschiedener Röhren, daß die Unterschiede derselben bei ordnungsmäßigem Betriebe nicht so bedeutend sind, so daß es, zumal wenn man stets mit Röhren arbeitet, deren Antikathode auf ihrer Vorderseite stets das gleiche Metall hat und dann ferner auch die Dicke des von den benutzten Strahlen durchdrungenen Teiles der Glaswand berücksichtigt, auch schon von vornherein möglich ist, die Wirkung einer Röhre aus den Angaben des Milliampèremeters und der Härteskala mit erheblich größerer Genauigkeit anzugeben als dies mit irgend einem direkten Verfahren möglich ist.

Erythemdosis in Milliampèreminuten

Somit erscheint es berechtigt, auch schon hier für die wichtigste der in der Röntgentherapie vorkommenden Röntgenstrahlenmenge, die Erythemdosis nämlich, die auf Grund einer größeren Anzahl von Versuchen des Verfassers berechneten Werte der zugehörigen Elektrizitätsmenge für die verschiedenen Röhrenhärten und die hauptsächlichsten in der Praxis vorkommenden Glasdicken in der folgenden Tabelle II anzugeben. Dabei ist allerdings noch hervorzuheben, daß die für die weicheren Strahlengattungen angegebenen Zahlenwerte nur unter der Bedingung Gültigkeit haben, daß die Empfindlichkeit der menschlichen Haut sich für diese im Vergleich zu der für härtere Strahlen in demselben Verhältnis ändert wie die des Bariumplatincyanürs der Sabouraud und

Tabelle II.

Werte der Erythemdose für senkrecht getroffene Hautflächen und nicht gefilterte Strahlen bei Antikathoden mit platinierter Vorderfläche und einer Glasdicke der Röhrenwand von bezw. 0,4, 0,6 und 0,8 mm in Milliampèreminuten.

Röhrenhärte	2			3			4			5			B.W.
Fokushautabstand	Glasdicke			Glasdicke			Glasdicke			Glasdicke			
cm	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8	mm
10	14	20	28	7,1	9,5	13	4,9	6,4	8,5	3,8	4,6	5,7	Milliampèreminuten
15	32	44	64	16	21,5	29	11	14,5	19	8,5	10,4	12,8	
20	57	81	114	28,5	38	52	19,5	25,5	34	15,2	18,6	22,8	
25	90	128	180	45	60	83	30,5	40	56	23,7	29	35,5	
30	129	184	258	64	86	118	44	58	76	34	41,5	51	
35	175	250	350	87	117	160	60	79	104	46,5	57	70	
40	229	328	458	114	153	209	78	102	136	61	74,5	91	

Noiréschen Reagenzkörper; denn aus der Bestrahlung solcher wurden die Zahlen abgeleitet.

Hinsichtlich der übrigen bei der Benutzung der Zahlen der Tabelle II gültigen Bedingungen sei auf die Überschrift derselben verwiesen. (Hier folgt Tab. II von S. 122.)

Hat man es also mit einer Röhre der beschriebenen Art zu tun, deren Glasdicke an der von den benutzten Strahlen durchsetzten Stelle z. B. 0,6 mm ist — die Größe dieser Dicke wird man sich in Zukunft von seinem Röhrenlieferanten aufgeben lassen —, so darf man, wenn man bei der Röhrenhärte 5 B. W. und 20 cm Hautabstand keine stärkere Schädigung einer senkrecht getroffenen Hautfläche hervorrufen will, im ganzen nur 18,6 Milliampèreminuten durch die Röhre hindurchschicken, so daß man also z. B. bei Stromstärken von $^1/_2$, 1 und 2 Milliampère nicht länger als bezw. 37, 19 und $9^1/_2$ Minuten bestrahlen darf.

Für Glasdicken oder Entfernungen, welche zwischen den in der Tabelle berücksichtigten gelegen sind, wird man am einfachsten aus den nächstgelegenen Zahlenwerten interpolieren, wobei man den Zwischenwert in beiden Fällen ohne großen Fehler einfach nach der ersten Potenz der Unterschiede der betreffenden Größe berechnen kann. Um also z. B. für die Röhrenhärte 5 B. W., für einen Hautabstand von 38 cm und eine Glasdicke von 0,5 mm den Wert der Erythemdose zu berechnen, bestimmt man denselben zunächst für diese Glasdicke bei 35 und 40 cm Hautabstand, d. h. man bildet das Mittel aus den für 0,4 und 0,6 mm Glasdicke angegebenen Zahlen, wobei man dann bezw. 52 und 68 Milliampèreminuten (M. A. M.) erhält. Dann berechnet man aus der Differenz beider Zahlen, die 16 M. A. M. beträgt und für 40—35 = 5 cm Abstandsdifferenz gilt, die für 38—35 = 3 cm Abstandsdifferenz gültige einfach in linearer Weise, d. h. nach der Formel $x : 16 = 3 : 5$, woraus sich $x = 16 \cdot {}^3/_5 = 10$ und also der gesuchte Wert der Erythemdose schließlich zu $52 + 10 = 62$ M. A. M. ergibt. Will man die Zahl genau finden, oder handelt es sich um eine solche für einen nicht in der Tabelle II angegebenen Bereich, so geht man von irgend einer Zahl, z. B. von der für 35 cm Abstand und 0,4 mm Glasdicke — für h = 5 B. W. also von 46,5 — aus und berechnet dann mit Hilfe der Zahlen der Tabelle I zunächst den genauen Wert der Dosis für die gewünschte Glasdicke und denselben Abstand. Für 0,5 mm Glasdicke wie im obigen Beispiel ergibt sich dieselbe dann zu $46{,}5 \cdot \frac{66}{59} = 52{,}0$; denn der von 0,5 mm Glas hindurchgelassene Prozentsatz der Röntgenstrahlen von der Härte 5 B. W. ist nach Tabelle I im Verhältnis $\frac{59}{66}$ kleiner als der von 0,4 mm Glas hin-

durchgelassene. Um ferner schließlich aus der so gewonnenen Zahl noch diejenige für dieselbe Glasdicke und 38 cm Hautabstand genau zu finden, geht man auf das quadratische Abstandsgesetz zurück, woraus sich dieselbe zu $52{,}0 \cdot \frac{38^2}{35^2} = 61{,}2$ ergibt, eine Zahl, die mit der oben durch lineare Interpolation gefundenen fast genau übereinstimmt.

Schräg getroffene Hautflächen

Für schräg getroffene Hautflächen erhöhen sich natürlich die in der Tabelle II angegebenen Zahlen im Verhältnis von $1/\cos\alpha$, wo α der Winkel ist, welchen die getroffene Hautstelle mit der „Normalstellung“ (s. S. 20) derselben bildet, für 30, 45 und 60° Neigung also z. B. um bezw. das 1,16, 1,41 und 2 fache. Näheres über die Behandlung ausgedehnter Bestrahlungsherde mit verschieden gestellten Hautflächen sehe man bei Holzknecht in den Fortschritten auf d. Geb. d. Röntgenstr. Bd. 8, p. 100.

Verschiedene Radiosensibilität

Die Zahlen der Tabelle II und die davon abgeleiteten gelten ferner natürlich nur für die Haut des Menschen und nicht etwa für andere Organe desselben; denn zunächst sind diese für Röntgenstrahlen nicht alle ebenso empfindlich wie die Haut, sondern es gibt solche von geringerer und auch solche von größerer „Radiosensibilität“. Aber auch selbst für gleich empfindliche Organe wie die Haut würden die Zahlen doch nur dann gelten, wenn jene Organe direkt an der Körperoberfläche oder unmittelbar darunter lägen.

Tiefliegende Organe

Denn mit Bezug auf tiefer liegende Organe ist einesteils zu berücksichtigen, daß dann alle Strahlen, ehe sie an das Organ gelangen, durch Absorption in den davor liegenden Körperteilen je nach der Dicke und absorbierenden Kraft der letzteren mehr oder weniger geschwächt werden, und anderenteils, daß hierbei von den weicheren Strahlengattungen stets ein erheblich größerer Teil verschluckt wird als von den härteren. Die Folge dieser Erwägungen ist dann die, daß für tiefliegende Organe, deren Empfindlichkeit die gleiche ist wie der Haut, die Zahlen der Tabelle II um so mehr zu erhöhen sind, je stärker die Absorption in den davor liegenden Körperteilen ist, und daß ferner die Erhöhung für weichere Strahlen noch wieder eine beträchtlich größere ist als für härtere.

Schutz der Haut

Sind diese tiefliegenden Organe allerdings empfindlicher als die Haut, so sind auch die Zahlen der Tabelle aus diesem Grunde wieder in entsprechendem Verhältnis zu verkleinern, sind sie aber unempfindlicher, so hat man sie noch weiter zu erhöhen. Im letzteren Falle muß man jedoch berücksichtigen, daß bei einem solchen, im Innern des Menschen gelegenen Organ, das für Röntgenstrahlen unempfindlicher ist als die Haut, die ganze, zur Erreichung

der Wirkung notwendige Strahlenmenge die Haut selbst nicht mehr an ein und derselben Stelle durchsetzen darf, da ja dann dieses Organ unbedingt geschädigt werden würde. Denn die Wirkung auf die Haut würde in diesem Falle aus dreifachem Grunde eine stärkere sein als auf das zu bestrahlende Organ, nämlich 1. weil die Haut empfindlicher ist, 2. weil sie dem Brennfleck der Röhre näher ist und 3. weil die sie treffende Strahlung noch nicht durch Absorption geschwächt ist.

Homogene Bestrahlung

Aus den beiden letztgenannten Gründen wird man übrigens auch schon bei Organen, welche gleich stark oder auch etwas stärker empfindlich sind als die Haut, wenn sie sehr tief unter ihr liegen oder wenn sehr stark absorbierende Körperteile, wie z. B. Knochen, davor gelegen sind, Bedenken tragen, die ganze Strahlenmenge durch dieselben Hautteile hindurch zu verabreichen, sondern in diesem Falle zu der sog. homogenen Bestrahlung greifen, d. h. das betr. Organ nacheinander von verschiedenen Seiten aus bestrahlen. Näheres darüber sehe man im medizinischen Teile dieses Buches.

Harte Strahlen

In physikalischer Hinsicht ist aber noch zu berücksichtigen, daß man bei solchen tiefliegenden oder durch stark absorbierende Körperteile verdeckten Organen stets auch eine möglichst harte Strahlung benutzen wird, und zwar einesteils, weil, je härter dieselbe ist, ein um so größerer Bruchteil davon in die Tiefe gelangt, und anderenteils weil dann auch der von der Haut absorbierte Bruchteil im Vergleich zu dem von dem zu bestrahlenden Organ absorbierten immer kleiner und so die Haut selbst also relativ immer weniger gefährdet wird.

Strahlenfilter

Einige Untersucher verwenden außerdem zu diesem Zwecke noch besondere Filter, d. h. Platten aus Stanniol, Aluminium, Glas oder Leder, wodurch nämlich sozusagen noch eine künstliche Härtung des aus der Röhre austretenden Strahlengemisches hervorgerufen wird, indem der weichste Teil desselben in dem Filter relativ am stärksten geschwächt wird und so der übrig bleibende Teil ein größeres Durchdringungsvermögen erlangt als vorher. Daß in diesem Falle das Leder, d. h. ein der Haut möglichst ähnliches Material benutzt wird, scheint schon deswegen empfehlenswert, weil die verschiedene Strahlenhärte in verschiedenen Stoffen verschieden stark absorbiert wird — eine Tatsache, auf der ja u. a. die Benoistsche Härteskala aufgebaut ist —, so daß man deshalb die gewollte Wirkung, d. h. die Härtung der Strahlung für die zu schützende Haut, am besten durch einen der letzteren möglichst ähnlichen Stoff erreicht. Außer dem Leder dürften daher allenfalls auch noch Aluminium, Glas oder dergleichen in Frage kommen, dagegen scheint das zu diesem Zwecke oft benutzte Stanniol wenig empfehlenswert,

weil es ähnlich wie das Silber gerade die harten Strahlen relativ stark absorbiert und daher das Gegenteil von dem bewirkt, was man eigentlich mit einem solchen Filter bezwecken will.

Andere Untersucher freilich sehen auch ganz von der Benutzung eines Filters ab, was sich einesteils dadurch begründen läßt, daß ja auch schon die Glaswand der Röntgenröhre stets als ein solches Filter wirkt, und andernteils auch dadurch, daß jedes Filter natürlich stets einen beträchtlichen Teil der Strahlung absorbiert.

Bei Anwendung eines Strahlenfilters sind die Zahlen der Tabelle II natürlich ebenfalls zu erhöhen, und zwar um so mehr, je stärker das Filter die Strahlen absorbiert. Annähernd kann man sich übrigens für jedes Filter die Größe der Erythemdose dadurch bestimmen, daß man einen Reagenzkörper unter dem Filter den Strahlen aussetzt und dann Härte, Elektrizitätsmenge und Röhrenabstand bestimmt, indes ist auch die so gewonnene Zahl natürlich wieder nur unter der Bedingung gültig, daß sich die Empfindlichkeit der Haut und die des Reagenzkörpers bei der Filterung in der gleichen Weise ändern.

Vergrößerung des Röhrenabstandes

Weiter sei noch erwähnt, daß bei der Bestrahlung eines tiefer liegenden Organs der Schutz der davor liegenden Haut auch noch dadurch gefördert wird, daß man mit größerem Röhrenabstand arbeitet. Denn wenn z. B. das zu bestrahlende Organ 5 cm tief unter der Haut liegt, so erhält diese z. B. bei 8 cm Abstand vom Brennfleck schon wegen dieser Abstandsunterschiede eine 2,64 mal so starke Strahlung wie das Organ, bei 16 cm Abstand dagegen deswegen nur noch eine 1,72 mal so starke, so daß also durch diese Abstandsvergrößerung die Haut relativ zum zu bestrahlenden Organ um das $\frac{2,64}{1,72} = 1,53$ fache günstiger gestellt ist. Allerdings muß man aber dafür im zweiten Falle auch $\left(\frac{16+5}{8+5}\right)^2 = 2,64$ mal so lange bestrahlen, um dieselbe Wirkung auf das Organ auszuüben.

Schließlich sei noch bemerkt, daß derartige Schutzmaßregeln für die Haut des Patienten unter Umständen auch schon bei röntgenographischen oder röntgenoskopischen Arbeiten in Rücksicht zu ziehen sind, zumal bei dickeren Organen, wo die vordere, d. h. die der Röhre zugewandte Hautfläche dem Fokus derselben oft um das Drei- bis Vierfache näher ist als die zu bestrahlende photographische Platte bzw. der Leuchtschirm und daher dann mehr als die 9 bzw. 16 fache Strahlungsenergie erhält. Durch Nichtbeachtung dieses Umstandes sind bei länger dauernden Durchleuchtungen oder mehrfacher Wiederholung einer röntgenographischen Aufnahme schon sehr schwere Röntgenverbrennungen zumal der Brusthaut sowie auch der darunter liegenden Organe veranlaßt worden.

5. Kapitel.

Der elektrische Strom. — Seine Entstehungsweise und seine Gesetzmäßigkeiten.

Um einen elektrischen Strom zu erzeugen, hat man zwischen den beiden Polen einer Elektrizitätsquelle, also z. B. eines galvanischen Elementes oder einer Dynamomaschine, eine die Elektrizität leitende, ununterbrochene Verbindung herzustellen. Wenn also in der Fig. 36 die beiden mit dem Buchstaben *E* bezeichneten Striche bzw. den positiven und den negativen Pol der Elektrizitätsquelle und *W* die äußere Verbindung derselben darstellen, so fließt der Strom in diesem „Stromkreise" nur so lange, als dieser letztere in allen seinen Teilen vollständig geschlossen ist, er hört aber auf, sobald *W* an irgendeiner Stelle, also z. B. durch einen Schalter *S* unterbrochen wird. Schließen wir diesen Schalter wieder, so beginnt auch der Strom aufs neue zu fließen; und somit ergibt sich zugleich die Bedeutung eines gewöhnlichen Schalters oder Stromschlüssels: er soll einesteils den elektrischen Stromkreis schließen und damit den Strom selbst in Gang bringen, andernteils aber auch den Kreis öffnen und damit den Strom selbst aufhören lassen.

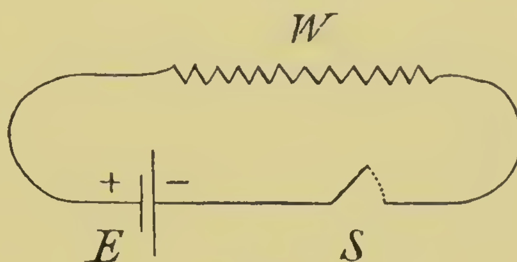


Fig. 36.

Leitungsfehler

Diese Art der Schließung und Öffnung des Stromkreises hängt natürlich durchaus von der Willkür des Untersuchers ab; in der Praxis kommt nun aber auch hin und wieder der Fall vor, daß sich in der oft sehr komplizierten Leitung *W* allmählich eine unbeabsichtigte Unterbrechung derselben ausbildet, indem sich beispielsweise eine Schraube, die zwei Drahtenden fest gegeneinander klemmen soll, gelockert hat, oder indem gar ein Leitungsdraht innerhalb seiner Umspinnung durchgebrochen ist. In diesem Falle, der sich natürlich dadurch verrät, daß dann auch beim Schließen des Schalters *S* noch kein Strom in der Leitung *W* fließt, verfährt man nun, um den unbekannten Ort der Unterbrechungsstelle aufzufinden, am besten so, daß man sich zunächst von der guten Beschaffenheit seiner Elektrizitätsquelle *E* überzeugt; denn auch in dieser können derartige Unterbrechungen des Stromkreises oder auch Fehler anderer Art auftreten. Diese Aufgabe erledigt man bei den hier in Frage kommenden Stromkreisen am einfachsten mit Hilfe einer elektrischen Glühlampe, die sich nämlich, wenn sie

für die Elektrizitätsquelle *E* richtig gewählt ist, unmittelbar an die beiden Pole derselben anschließen läßt, und deren Funktion daher — abgesehen von ihrer eigenen guten Beschaffenheit — nur noch von dem guten Zustande der Quelle *E*, nicht aber von dem der eigentlichen Arbeitsleitung *W* abhängig ist. Diese Prüflampe, die natürlich ihren besonderen Schalter hat, läßt sich übrigens, wie wir in Kap. 7 sehen werden, in unserem Falle zugleich zu einer sehr zweckmäßigen Beleuchtungsvorrichtung der zur Regulierung des eigentlichen Arbeitsstromes dienenden Apparate ausbilden.

Wenn nun also diese Lampe beim Schließen ihres Schalters mit normaler Helligkeit aufleuchtet und somit von der guten Beschaffenheit der Elektrizitätsquelle *E* Zeugnis ablegt, so hat man demnach die oben angenommene fehlerhafte Unterbrechungsstelle in der äußeren Leitung *W* zu suchen und wird dann, wenn es sich um eine verhältnismäßig einfache und übersichtliche Leitung handelt, zur Auffindung jener Stelle am besten an dem einen Pole von *E* anfangen und nun die ganze Leitung *W* bis zum andern Pole von *E* hin Stück für Stück absuchen, wobei man natürlich vor allem auf den guten Zustand der Klemmverbindungen zu achten hat. Befinden sich dagegen in dem Stromkreise *W* Apparate, in denen der Weg des Stromes von außen her nicht zu übersehen ist, so hilft man sich in der Weise, daß man alle derartige Teile des Stromweges nacheinander einzeln kurz schließt, d. h. die als Ein- und Ausflußstelle des Stromes an dem betreffenden Apparate dienenden Klemmen einfach durch einen möglichst kurzen und etwa 2—3 mm dicken Kupferdraht verbindet. Denn, wenn durch diese Maßregel der Strom, der vorher beim Schließen des Schalters *S* in der Leitung *W* nicht zirkulieren wollte, jetzt plötzlich zum Fließen veranlaßt wird, so ist damit offenbar bewiesen, daß die gesuchte fehlerhafte Unterbrechungsstelle in dem betreffenden, kurz geschlossenen Apparate selbst liegen muß; und der letztere ist also dann für sich allein einer näheren Untersuchung zu unterwerfen.

Ein solches Kurzschließen einzelner Teile der Strombahn durch kurze dicke Leitungsdrähte ist nun allerdings nicht in allen Fällen ohne weiteres zulässig, z. B. nicht dann, wenn der in Frage kommende Teil dem Strome auch bei normaler Beschaffenheit einen sehr großen Widerstand entgegensetzt. In diesem Falle würde nämlich offenbar dadurch, daß an die Stelle dieses großen Widerstandes plötzlich der sehr kleine des kurzen dicken Kupferdrahtes tritt, die Stärke des Stromes ganz außerordentlich anschwellen und dabei unter Umständen auf andere Teile des Stromkreises zerstörend wirken können. Bei einer solchen Fehleruntersuchung hat demnach der Untersucher — wie überhaupt vor jedem Schließen des

Schalters S — stets eine kurze Überschlagsrechnung zu machen, wie groß der Strom, der er einzuleiten im Begriffe ist, annähernd werden wird, eine Pflicht, die aber die Bekanntschaft mit dem Ohmschen Gesetze voraussetzt; und dieses, das Grundgesetz der ganzen praktischen Elektrizitätslehre, müssen wir daher jetzt etwas eingehender behandeln.

Dasselbe sagt einfach aus, daß der elektrische Strom i, welcher sich in einer Leitung ausbildet, gleich der Spannung oder elektromotorischen Kraft e der Elektrizitätsquelle dividiert durch den Widerstand w des ganzen Stromkreises ist. Wir haben mithin die Gleichung Ohmsches Gesetz

1) $$i = \frac{e}{w},$$

aus der sich die ungefähre Größe des Stromes i auch schon stets im Kopfe berechnen läßt, wenn man diejenige von e und w kennt. Dabei wird in der Praxis als Einheit der Spannung das Volt, als Einheit des Widerstandes das Ohm (Ω) und als Einheit der Stromstärke das Ampère benutzt, Größen, die man ebenso wie alle andern Einheiten des praktischen Lebens am besten aus praktischen Beispielen kennen lernt, und von solchen sollen daher jetzt auch einige in ganz kurzer Darstellung angeführt werden.

Was also zunächst die Spannungen einiger allgemein bekannter Elektrizitätsquellen anbetrifft, so hat z. B. das bekannte Daniellsche Element eine solche von 1,1 Volt, eine Zelle eines Bleiakkumulators, den wir später noch genauer kennen lernen werden, eine solche von rund 2 Volt. Die elektrischen Maschinen eines städtischen Elektrizitätswerkes für Beleuchtungszwecke usw. liefern meistens eine Spannung von 110 oder auch von 220 Volt, während diejenigen zum Betriebe elektrischer Straßenbahnen mit 500 Volt oder noch mehr arbeiten. Mit der Spannung wächst nämlich begreiflicherweise auch die Leistungsfähigkeit der Elektrizitätsquelle; vor allem aber verringern sich damit auch die Kosten der Fortleitung der elektrischen Energie auf größere Entfernungen hin, wie wir später noch genauer einsehen werden. Andererseits wächst aber wieder mit der Spannung der Elektrizität die Schwierigkeit, dieselbe zu isolieren, d. h. ihren Übergang in benachbarte Leiter zu verhindern; und dies ist auch der Grund, warum man z. B. in Häuser nicht gern Spannungen von mehr als einigen hundert Volt einleitet, während man für Leitungen im Freien — bei den sogen. Überlandzentralen — schon bis zu Spannungen von 100000 Volt gegangen ist. Noch höher aber sind die Spannungen, welche ein größerer Induktionsapparat zu liefern vermag, denn einem elektrischen Funken von 20 cm Länge z. B. entspricht ungefähr eine Elektrizitätsquellen

Spannung von 120000 und einem solchen von 40 cm Länge eine solche von rund 200000 Volt. Bei diesen Spannungen zeigt sich nun auch das Charakteristische der hochgespannten Elektrizität: ihre Neigung, auf andere Körper überzugehen, in besonders hohem Maße, eine Neigung, die darauf beruht, daß ein solcher mit hoher Spannung geladener Leiter in allen benachbarten Leitern durch sogenannte Influenzwirkung Elektrizität mit entgegengesetztem Vorzeichen erzeugt, und daß nun diese beiden sich gegenüberstehenden Ladungen das Bestreben haben, sich miteinander zu verbinden oder zu neutralisieren.

Elektrische Widerstände

Was sodann die elektrischen Widerstände betrifft, so kommen hier hauptsächlich diejenigen aus Metalldraht in Frage. Hierbei gilt nun als Regel, daß der Widerstand eines solchen Drahtes mit der Länge direkt, mit dem Querschnitt aber umgekehrt proportional geht. Ein dickerer Draht hat also einen kleineren Widerstand als ein dünner von gleicher Länge und gleichem Stoff. Außer von den Dimensionen hängt ferner der Widerstand eines Drahtes auch noch von der Art des Metalles ab, aus welchem er besteht: ein solcher aus Kupfer z. B. hat einen etwa 30 mal so kleinen Widerstand wie ein gleichgeformter Draht aus Konstantan, einer Legierung aus 60 % Kupfer und 40 % Nickel. Bei 1 m Länge und 1 mm Dicke beispielsweise hat ein Kupferdraht nur einen Widerstand von 0,022 Ω, ein Konstantandraht dagegen einen solchen von 0,64 Ω. Bei 10 m Länge ist der Widerstand beider Drähte natürlich 10 mal so groß, also resp. 0,22 und 6,4 Ω; doppelt so dicke Drähte von dieser Länge andererseits haben wieder nur $^1/_4$ dieses Widerstandes, also nur resp. 0,055 und 1,6 Ω, da ja der Querschnitt q eines Runddrahtes quadratisch mit dem Radius r und auch dem Durchmesser d wächst $\left(q = r^2\pi = \frac{d^2}{4}\cdot\pi\right)$.

Aus diesen Zahlen können wir nun mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes leicht ausrechnen, wie groß der elektrische Strom in einem solchen Drahte wird, wenn wir denselben zwischen die beiden Pole einer Elektrizitätsquelle von bestimmter Spannung einschalten. Benutzen wir z. B. als solche eine einzige Zelle eines Bleiakkumulators, dessen Spannung e gerade gleich 2 Volt angenommen werden mag, so wird in einem 1 m langen Draht von 1 mm Durchmesser nach Gleichung (1) der Strom $= \frac{2}{0{,}64} = 3{,}1$ Amp. werden, wenn der Draht aus Konstantan, dagegen $= \frac{2}{0{,}022} = 91$ Amp., wenn er aus Kupfer besteht, wobei allerdings beide Male angenommen wurde, daß der Widerstand des Akkumulators selbst unendlich klein ist. Ein Strom von 91 Amp. würde nun aber den in Rede stehenden

Kupferdraht in jeder Sekunde um etwa 67° erhitzen, d. h. ihn also in wenigen Sekunden zum Schmelzen bringen, so daß deswegen eine derartige Verbindung der beiden Pole einer Elektrizitätsquelle durch einen solchen Draht oder sonstigen Gegenstand von hoher Leitfähigkeit schon wegen der dabei in diesem letzteren selbst entstehenden sehr großen Wärmeentwicklung, noch mehr aber in den meisten Fällen wegen seiner Schädlichkeit für die Elektrizitätsquelle selbst zu vermeiden ist. In der Praxis wird eine solche Verbindung als Kurzschluß bezeichnet. Ein solcher wird natürlich um so gefährlicher, je höher die Spannung der Elektrizitätsquelle ist; denn nach dem Ohmschen Gesetze wächst mit dieser auch die Größe des Stromes selbst. Derartige Schäden lassen sich nun aber durch sogenannte Sicherungen, d. h. kurze Draht- oder Blechstücke aus leicht schmelzbaren Metallen, wie Blei oder Zinn, vermeiden, wenn man dieselben irgendwo in den Stromkreis einfügt und deren Querschnitt so bemißt, daß sie bei einer gewissen Stromstärke, die dann eben nicht überschritten werden darf, durchschmelzen.

Kehren wir jedoch zu unsern beiden, oben als Beispiel angeführten Drähten zurück, so war nun zwar die Verbindung der beiden Pole einer Akkumulatorenzelle durch den 1 m langen Kupferdraht von 1 mm Durchmesser fast gleichbedeutend mit einem Kurzschluß derselben und daher nicht erlaubt; der Einschaltung eines ebensolchen Konstantandrahtes dagegen steht in diesem Falle durchaus nichts im Wege, da der Strom dann, wie wir gesehen haben, nur auf 3,1 Amp. ansteigt, und ein solcher Strom den in Frage kommenden Draht in jeder Sekunde nur um etwa 2,3° C erhitzt. Derselbe wird demnach dabei zwar allmählich warm, aber doch durchaus nicht so heiß, daß er dadurch zum Schmelzen kommt. Tatsächlich hält denn auch ein solcher Konstantandraht von 1 mm Durchmesser, wenn er frei an der Luft liegt, sogar Stromstärken bis zu 10 Amp. ohne Schaden aus, und deshalb wird denn auch dieses oder ein ähnliches Metall in der Regel zur Konstruktion der in der Praxis so wichtigen Regulierwiderstände oder Rheostaten benutzt, die bekanntlich dazu dienen, die Stärke des elektrischen Stromes nach Belieben zu vergrößern oder zu verkleinern, und von denen ein solcher in Tischform in der Fig. 37 abgebildet ist.

Oben auf der Tischplatte, die in der Regel aus Marmor besteht, da dieser die Elektrizität nicht leitet und dabei doch nicht brennbar ist, befinden sich eine Reihe von Messingknöpfen 0, 1, 2, 3 . . ., welche durch lange, spiralförmig gebogene und unterhalb der Tischplatte angebrachte Widerstandsdrähte der oben beschriebenen Art miteinander verbunden sind. In der Figur sind die letzteren durch punktierte Linien angedeutet. Oben auf dem Regulierwiderstände

9*

Tische befindet sich ferner der Messinghebel *H* mit Handgriff, der sich über die Knöpfe 0, 1, 2, 3 ... hinwegdrehen läßt und dabei durch eine Feder fest gegen sie angedrückt wird, um stets in guter metallischer Verbindung mit dem darunter befindlichen Knopf zu stehen. Das metallische Gegenlager des anderen freien Endes dieses Hebels, sowie der erste der Knöpfe sind unterhalb der Tischplatte durch die beiden kurzen und dicken, in der Figur punktiert angedeuteten Kupferdrähte *I* und *II* mit den beiden Klemmen *A* und *B* verbunden, in welche die beiden Leitungsdrähte, die den Strom zum Widerstand hin bzw. von ihm fortführen, eingeklemmt werden.

Nehmen wir nun zunächst an, daß sich der Hebel, wie in der Figur gezeichnet ist, auf Knopf 5 befindet, so muß der in *A* eintretende Strom, um von dort nach *B* hin zu gelangen, offenbar zunächst den Draht *I*, dann den Hebel *H*, ferner den Knopf 5, dann den Spiraldraht zwischen Knopf 5 und 4, dann Knopf 4, dann den 4 und 3 verbindenden Draht usw., d. h. sämtliche unter dem Tische befindlichen Drähte passieren, um schließlich durch den Draht *II* nach *B* hin zu gelangen. Dreht man dagegen den Hebel *H* auf Knopf 4, so kann der Strom von *H* aus gleich in den zwischen 4 und 3 befindlichen Draht eintreten, so daß also der Weg zwischen den beiden Punkten *A* und *B* um das zwischen 5 und 4 liegende Drahtende verkürzt und demnach in entsprechendem Maße auch der Widerstand des ganzen Rheostaten verkleinert ist. Durch noch weiteres Hinüberdrehen des Hebels zum Knopfe 3 hin wird der für den Strom übrig bleibende Widerstand natürlich noch weiter verkleinert usw.

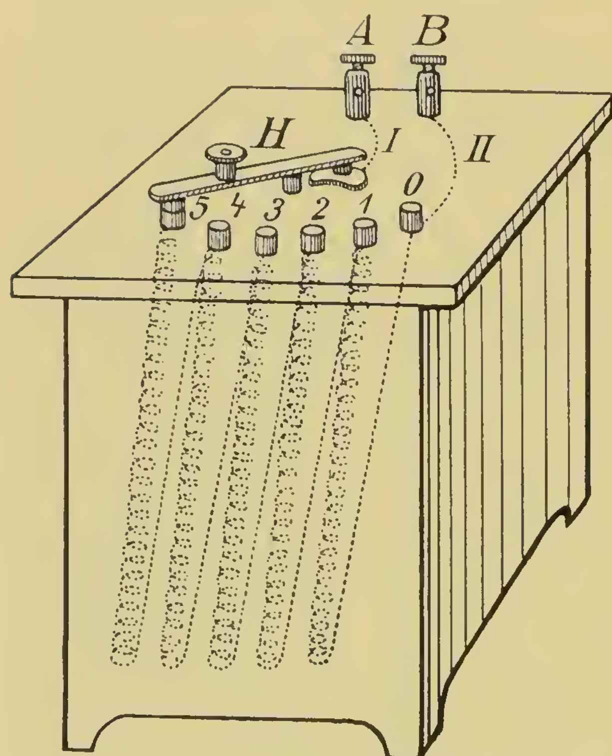


Fig. 37.

Um auch ein Zahlenbeispiel zu geben, nehmen wir an, daß jede der fünf Drahtabteilungen unseres Widerstandstisches einen Widerstand von 10 Ω habe, und daß die Klemmen *A* und *B* desselben direkt mit den beiden, in irgendein Haus abgezweigten Poldrähten eines städtischen Leitungsnetzes von 110 Volt verbunden sind. Befindet sich dann der Hebel *H* auf Knopf 5, so hat der Strom

nach dem oben Gesagten die sämtlichen 5 Widerstandsdrähte, d. h. im ganzen $5 \times 10 = 50$ Ω zu durchlaufen, und die Stromstärke i wird also nach Gleichung (1) gleich $\frac{110}{50} = 2{,}2$ Amp. Ebenso findet man, daß sie für Knopf 4 gleich $\frac{110}{40} = 2{,}75$, für Knopf 3 gleich $\frac{110}{30} = 3{,}7$, für Knopf 2 gleich $\frac{110}{20} = 5{,}5$, für Knopf 1 gleich $\frac{110}{10} = 11{,}0$ Amp. und für Knopf 0 gleich $\frac{110}{0}$, d. h. unendlich groß wird, was natürlich wieder einen Kurzschluß bedeuten würde.

Aber auch schon beim Übergang von Knopf 2 zu 1 würde der Strom in diesem Falle von 5,5 auf 11,0 Amp., d. h. auf den doppelten Wert ansteigen, eine Zunahme, die für die meisten Fälle eine viel zu grobe Abstufung bedeutet und daher durch eine andere Einteilung des Widerstandes vermieden werden muß. Eine solche erreicht man einesteils natürlich durch Benutzung einer größeren Anzahl solcher Drahtabteilungen, anderenteils aber auch noch dadurch, daß man nicht alle Abteilungen einander gleich, sondern die ersten gröber und die letzten feiner abstuft. Ein dritter, sehr zweckmäßiger Weg zur Erreichung einer möglichst feinen und gleichmäßigen Abstufung des Stromes besteht darin, daß man zwei, voneinander getrennte Abteilungen mit je einem besonderen Hebel benutzt, deren eine etwa wie oben angenommen mit Einzelstufen von je 10 Ω, und deren andere mit zehn Stufen von je 1 Ω versehen wird. Die erstere dieser beiden Abteilungen dient dann für die grobe, die andere für die feine Einstellung des richtigen Widerstandswertes, ähnlich wie man ja auch beim Mikroskop besondere Vorrichtungen für die grobe und die feine Einstellung anbringt. Die Handhabung eines solchen Doppelwiderstandes ist dann offenbar die, daß man zunächst an dem Hebel der groben Abteilung soviel Widerstand ausschaltet, bis man annähernd die gewünschte Größe der Wirkung hat. Sieht man dann, daß die letztere bei Ausschaltung einer weiteren Abteilung dieses Widerstandes zu stark wird, so geht man wieder um einen Knopf zurück, und beginnt nun an der Feinregulierung auszuschalten, bis die gewünschte Wirkung eingetreten ist. Die Zahl der Stufen eines solchen Widerstandes sowie auch die Größe einer jeden Abteilung desselben (in Ω) hängt natürlich ab: 1) von der Spannung, mit welcher man arbeitet, 2) von den Grenzwerten der Stromstärke, die man gebraucht und 3) von der Feinheit der Abstufung, die für die letztere erforderlich ist, so daß daher in der Regel für jeden besonderen Zweck auch ein besonderer Widerstand nötig ist.

Einen weiteren hierbei zu berücksichtigenden Gesichtspunkt

bildet auch noch die Dicke der in dem Widerstand benützten Drähte; denn für jede Dicke einer bestimmten Drahtsorte existiert natürlich eine bestimmte Grenzstromstärke, über die hinaus man den Draht nicht belasten darf, wenn er nicht in Glut geraten soll. So verträgt z. B. ein frei liegender Konstantandraht von 0,5 mm Durchmesser nur Stromstärken bis zu 6 Amp., einer von 1 mm schon solche bis zu 10 Amp., und einer von 2 mm solche bis zu 25 Amp. Für noch stärkere Ströme nimmt man in der Regel nicht mehr Drähte, sondern Bänder aus Metall, da dann die Abkühlung eine bessere ist.

Während nun bei derartigen Widerständen die durch den elektrischen Strom erzeugte Wärme mehr oder weniger störend auftritt, bildet dieselbe in anderen Fällen, z. B. den elektrischen Glühlampen, geradezu das wirksame Element; auch in diesem Falle aber handelt es sich ebensogut wie in jenem um nichts anderes als um die Erwärmung eines Ohmschen Widerstandes, und der Strom in demselben, dem Glühfaden der Lampe also, bestimmt sich genau so gut nach dem Ohmschen Gesetze, wie derjenige in einem gewöhnlichen Drahte. Wenn also z. B. eine mit 110 Volt Spannung brennende Osramlampe einen Strom von 0,25 Amp. verbraucht, so ergibt sich aus der Ohmschen Gleichung 1), daß der Widerstand w des Fadens derselben $= \frac{e}{i} = \frac{110}{0,25} = 440\ \Omega$ beträgt. Derselbe hat also in diesem Falle einen verhältnismäßig hohen Wert; und ein solcher ist hierbei auch nötig, da sonst der Strom in dem Faden wegen der hohen in Frage kommenden Spannung so stark werden würde, daß der letztere durchbrennen müßte. Für kleinere Spannungen werden selbstverständlich Glühfäden mit kleinerem Widerstande benutzt; und zwar kann man hier in der Praxis einfach in der Weise verfahren, daß man bei allen Lampen einer bestimmten Art, also z. B. bei allen Kohlenfadenlampen die Dicke der Fäden gleichmacht, ihre Länge aber und demnach auch ihren elektrischen Widerstand proportional der Spannung zunehmen läßt, so daß dann eben nach dem Ohmschen Gesetze der elektrische Strom und damit eben auch die Stärke des Glühens in allen Fällen dieselbe wird. Unter diesen Umständen wird dann also der Faden einer 110 Volt-Lampe 55 mal so lang sein wie der einer Lampe für 2 Volt; in entsprechendem Maße wird dann aber natürlich auch die Lichtstärke der ersteren Lampe größer sein; denn bei gleicher Glühtemperatur muß natürlich ein 55 mal längerer Faden auch 55 mal soviel Licht aussenden.

Joulesches Gesetz

Dieses Lampenbeispiel lehrt uns also zugleich das wichtige Resultat kennen, daß bei konstantem Strome die elektrische Leistung in einem Widerstande proportional mit der in ihm aufgebrauchten

Spannung wächst; und da nun andererseits diese Leistung bei konstanter Spannung aber veränderlicher Stromstärke natürlich auch mit letzterer steigt, so sehen wir demnach, daß die gesamte in einem bestimmten Widerstande in der Zeit t verausgabte elektrische Energie Q sich durch die Gleichung

2) $$Q = eit$$

darstellen läßt, worin i der durch den Widerstand fließende Strom und e die zwischen den Enden desselben herrschende Spannungsdifferenz bedeutet, die man mit einem, an diese Enden angelegten Spannungsmesser, einem sogenannten Voltmeter, in allen Fällen leicht bestimmen kann.

Das Produkt $e \times i$ dieser Gleichung wird nun in der Praxis mit dem Namen Watt belegt, und der Verbrauch an elektrischer Energie in einem Stromkreise oder auch in irgendeinem Teile desselben in der Regel nach Wattstunden berechnet. Die obenerwähnte Osramlampe z. B., die bei 110 Volt Spannung mit einer Stromstärke von 0,25 Amp. brannte, hat demnach einen Watt-Verbrauch von $110 \cdot 0{,}25 = 27{,}5$ Watt. Bei einer Helligkeit von 25 Kerzen benötigt dieselbe demnach für jede Kerze $\frac{27{,}5}{25} = 1{,}10$ Watt. Eine Kohlenfadenglühlampe andererseits, die bei 110 Volt Spannung 0,5 Amp. aufnimmt und dabei ein Licht von 16 Kerzen ausstrahlt, verbraucht für jede Kerze $\frac{110 \cdot 0{,}5}{16} = 3{,}44$ Watt, also mehr als das Dreifache wie die Osramlampe.

Diese Gleichung 2), die übrigens nach dem Engländer Joule (sprich Jaul) als das Joulesche Gesetz bezeichnet wird, läßt sich nun weiter mit Benutzung der Gleichung 1) auch in der Form

2a) $$Q = i^2 w t$$

schreiben, und in dieser Form sagt dieselbe dann aus, daß die von einem bestimmten elektrischen Strome i in einem bestimmten Widerstande w erzeugte Arbeits- oder Wärmemenge einesteils proportional der Größe des Widerstandes w selbst und andernteils proportional dem Quadrate der Stromstärke i ist, so daß sich also z. B. bei Verdoppelung der letzteren die in dem Widerstande erzeugte Wärme um das vierfache erhöht. In der Praxis wird man daher in allen Fällen danach trachten, die Stromstärke nicht größer als irgend nötig zu machen; und zumal dann nicht, wenn es sich um den längeren Durchgang eines Stromes durch einen Widerstand handelt, der, wie z. B. die primäre Spule eines Induktionsapparates, vollständig nach außen hin abgeschlossen ist, und aus welchem daher die Stromwärme nur äußerst schwer entweichen kann. Außer-

dem hat natürlich auch der Verfertiger des Instrumentes dadurch, daß er den Kupferdraht jener Spule genügend stark nimmt, dahin zu wirken, daß der Faktor w auf der rechten Seite der Gleichung 2a) und damit auch die Größe Q selbst möglichst klein bleibt.

Endlich aber verstehen wir nunmehr auch das bereits oben erwähnte Bestreben der Elektrizitätswerke — und zwar besonders solcher mit einem sehr ausgedehnten Wirkungsradius — mit möglichst hoher Spannung zu arbeiten. Da nämlich die von dem Werke fortgeleitete elektrische Energie nach der Gleichung 2) durch das Produkt ei dargestellt wird, so kann also das Werk dadurch, daß es die Spannung e z. B. auf das Doppelte erhöht, den Strom i bei gleicher Leistung auf die Hälfte herabsetzen. Durch diese Maßregel sinkt dann aber der in der Leitung als Stromwärme verloren gehende Teil der Energie nach der Gleichung 2a) auf $^1/_4$, oder aber das Werk kann, wenn es den gleichen Energieverlust zulassen will, den Kupferquerschnitt der Leitung auf $^1/_4$ erniedrigen, was dann natürlich unter Umständen eine ganz beträchtliche Ersparnis an Kupfermaterial darstellt.

---

6. Kapitel.

Die Akkumulatoren.

Da die Akkumulatoren überall dort, wo die Leitung eines Elektrizitätswerkes nicht unmittelbar zur Hand, eine solche aber doch nicht allzuweit entfernt ist, als die gegebene Elektrizitätsquelle für ein Röntgenlaboratorium zu bezeichnen sind, so dürfte eine kurze Beschreibung dieser Apparate hier angebracht sein. Dieselben gehören zur Kategorie der sog. Sekundärelemente, d. h. es sind ebenso wie die Primärelemente Zellen mit Flüssigkeit und zwei festen Elektroden; während aber bei den Primärelementen diese Elektroden und die Flüssigkeiten von Zeit zu Zeit neu ersetzt werden müssen, ist dies bei den Sekundärelementen nicht nötig, sondern es genügt in diesem Falle, dieselben durch eine andere Elektrizitätsquelle wieder neu mit Elektrizität aufzuladen, um sie wieder aufs neue instand zu setzen. Die Elektrizität wird daher gewissermaßen nur in ihnen aufgehäuft, und deswegen werden sie ja auch als Akkumulatoren bezeichnet. Die Elektroden derselben stellen im ungeladenen Zustande nichts anderes als gewöhnliche Bleiplatten dar, bei der Ladung überzieht sich jedoch die positive Polplatte mit einer schwammigen Schicht von braunem Bleisuperoxyd, während die negative Platte dabei nicht geändert wird.

Derartige Elemente können nun bei genügend großer Oberfläche ihrer Elektrodenplatten eine sehr große Menge elektrischer Energie in sich aufhäufen und auch wieder abgeben. Auch lassen sich aus ihnen im Vergleich mit anderen Elementen sehr große Stromstärken entnehmen, was seinen Grund hauptsächlich darin hat, daß der Elektrolyt der Akkumulatoren, der aus verdünnter Schwefelsäure besteht, mit zu den bestleitenden Flüssigkeiten gehört, und infolgedessen der sog. „innere Widerstand" der Elemente nur klein ist. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß die genannte Säure ihre größte elektrische Leitfähigkeit bei einer bestimmten Verdünnung besitzt, die auf 1000 Volumteile Wasser etwa 235 Volumteile reiner Säure enthält, was bei der fertigen Lösung einem spezifischen Gewicht von 1,22 entspricht. In der Praxis hat man demnach darauf zu achten, daß die Säure stets annähernd die genannte Dichte besitzt. Im übrigen wird der elektrische Widerstand der Zellen natürlich auch durch zweckmäßigen Aufbau der Elektroden möglichst gering gehalten, indem man den Abstand derselben möglichst klein, den Querschnitt der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit dagegen möglichst groß macht. Letzteres erreicht man dadurch, daß man, wie dies in Fig. 38 dargestellt ist, in jeder Zelle gleich mehrere positive und negative Platten abwechselnd und möglichst dicht nebeneinander aufstellt, und dann einerseits die positiven und andererseits die negativen Platten sämtlich durch angelötete Bleistreifen miteinander verbindet, die dann die beiden Pole des Elementes darstellen.

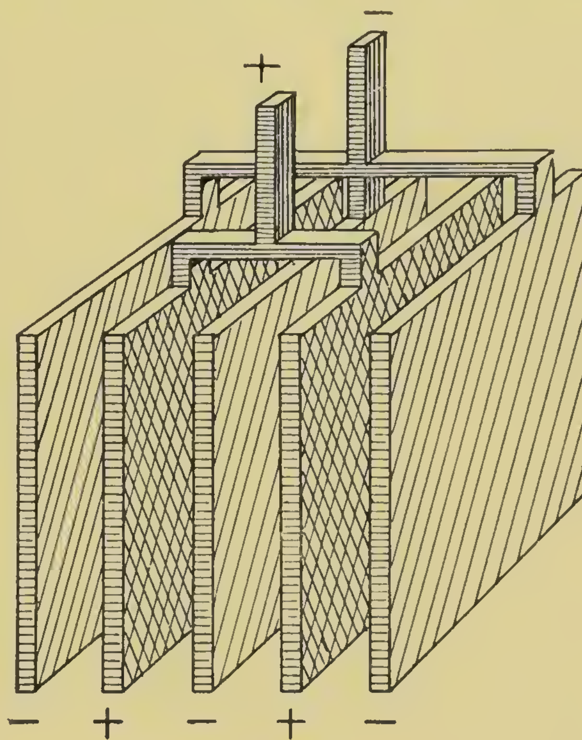


Fig. 38.

Jede solche Zelle hat nun, frisch geladen, eine Spannung von ungefähr 2,4 Volt; die letztere sinkt jedoch im Gebrauche, d. h. also bei der Entladung bald auf 2,0 und dann allmählich bis auf 1,8 Volt, so daß sie also rund 2 Volt beträgt. Sobald die Spannung unter 1,83 Volt sinkt, muß die Zelle neu geladen werden. Höhere Spannungen erhält man ferner dadurch, daß man mehrere solcher Zellen, wie dies in Fig. 39 für zwei derselben angedeutet

ist, „in Reihe“ oder „hintereinander“ schaltet, d. h. immer den positiven Pol der einen Zelle mit den negativen der nächsten durch einen kurzen, dicken Draht verbindet. Die Spannung einer derartig geschalteten „Akkumulatorenbatterie“ ist dann einfach gleich der Summe der Spannungen der sämtlichen einzelnen Zellen, eine Batterie von 10 Zellen hat also eine Spannung von rund 20 Volt usw. Die maximale Stromstärke dagegen, welche man

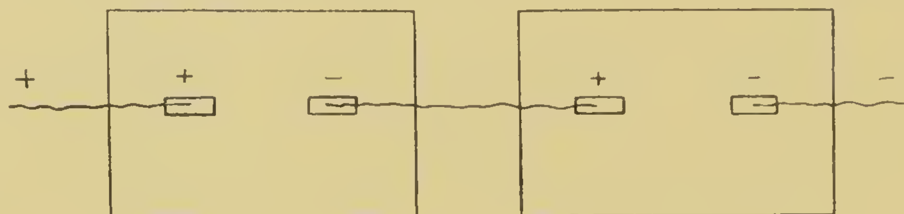


Fig. 39.

aus einer solchen Batterie entnehmen darf, hängt nicht von der Zahl sondern nur von der Größe der einzelnen Zellen, oder genauer von der gesamten Größe der Oberfläche ihrer Polplatten ab. Diese „maximale Entladungsstromstärke“ wird stets von der Fabrik angegeben und darf nicht überschritten werden. Will man mit einer größeren als dieser zulässigen Maximalstromstärke arbeiten, so muß man sich also entweder eine völlig neue Batterie mit größeren Einzelelementen anschaffen oder kann sich auch in der Weise helfen, daß man, wie in Fig. 40 angedeutet ist, immer je zwei der vorhandenen Elemente „parallel“ schaltet, d. h. sowohl ihre positiven als auch ihre negativen Polplatten untereinander verbindet. Auf diese Weise stellt man nämlich aus den zwei Zellen gewissermaßen eine einzige mit doppelter Oberfläche der Elektroden her, die demnach auch einen doppelt so starken Strom liefern kann als jede der Komponenten für sich allein. Andererseits sinkt allerdings durch diese Zusammenschaltung je zweier Elemente die Spannung der ursprünglichen Batterie auf die Hälfte ihres früheren Wertes; denn die beiden parallel geschalteten Zellen haben natürlich keine größere Spannung als eine einzige Zelle, also rund 2 Volt, während sie in Reihenschaltung 4 Volt lieferten.

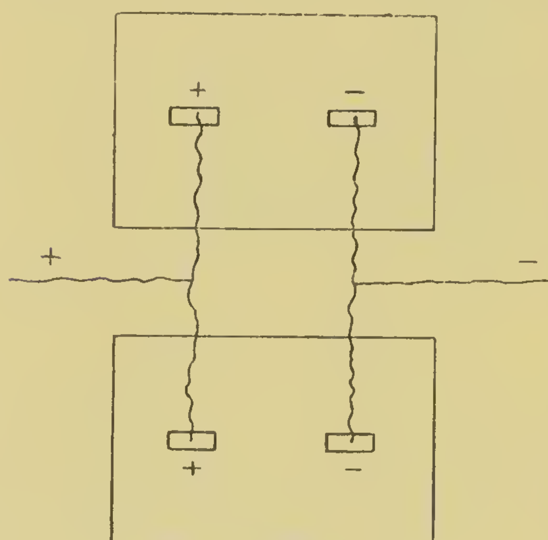


Fig. 40.

Ladung der Akkumulatoren

Was sodann die Ladung der Akkumulatoren des näheren angeht, so kommt es hierbei darauf an, einen elektrischen Strom

in einer Richtung durch die Elemente hindurchzuschicken, welche derjenigen des von ihnen gelieferten Stromes entgegengesetzt ist; denn durch den ersteren sollen ja diejenigen chemischen Prozesse, welche sich beim letzteren abgewickelt haben, wieder rückgängig gemacht werden. Um nun aber eine solche Stromrichtung beim Laden zu erreichen, muß die Spannung der dazu gebrauchten Elektrizitätsquelle größer sein als die der zu ladenden Batterie, da ja sonst der Strom nicht aus der ersteren in die letztere, sondern umgekehrt fließen und also die Batterie statt geladen noch weiter entladen werden würde. Für eine Batterie von 20 in Reihe geschalteten Akkumulatoren muß mithin die Ladespannung mindestens $20 \times 2{,}5 = 50$ Volt betragen, denn man hat in diesem Falle natürlich, wenn man die Akkumulatoren voll aufladen will, mit der schließlichen Endspannung derselben, d. h. etwa 2,4—2,5 Volt für die Zelle, zu rechnen. Allerdings kann man die Zellen seiner Batterie bei der Ladung auch sämtlich parallel schalten, so daß man in diesem Falle nur die Gegenspannung einer einzigen Zelle, 2,5 Volt, zu überwinden hat; jedoch hat man dann zu berücksichtigen, daß der Ladestrom sich auf die 20 Zellen verteilt und jede also nur $^1/_{20}$ des ganzen Stromes erhält, so daß mithin dann entweder eine 20 mal so große Stromstärke angewandt oder aber eine 20 mal so lange Zeit geladen werden muß.

Die zum Laden dienende Elektrizitätsquelle wird ferner nicht etwa direkt mit den beiden Polen der zu ladenden Batterie verbunden, sondern es ist dabei stets ein passender Regulierwiderstand sowie auch ein die Stromstärke anzeigendes Instrument, ein sog. Ampèremeter, in den Stromkreis einzuschalten; denn auch die Stärke des Ladestromes darf nicht größer als die des Entladestromes genommen werden. Die Größe des einzuschaltenden Widerstandes kann man sich übrigens in jedem Falle leicht nach dem Ohmschen Gesetze berechnen, indem man berücksichtigt, daß als wirksame Spannung in diesem Falle die Differenz der beiden im Stromkreise vorhandenen Spannungen, d. h. also der der zum Laden benutzten und der der zu ladenden Elektrizitätsquelle, zu rechnen ist, da ja beide gegeneinander geschaltet sind. Haben wir also z. B. die obengenannte Batterie von 20 Zellen mit der Spannung eines Elektrizitätswerkes von 110 Volt zu laden, so ist zum Beginn der Ladung, wo jede der zu ladenden Zellen nur noch eine Spannung von 1,8 Volt und die ganze Batterie also eine solche von $20 \times 1{,}8 = 36$ Volt hat, die wirksame Spannung $110—36 = 74$ Volt und der Widerstand muß daher, wenn der Ladestrom nicht stärker als 10 Ampère werden darf, nach Gleichung 1) (S. 129) zum mindesten $\frac{74}{10} = 7{,}4\ \Omega$ betragen. Im Verlaufe der Ladung steigt dann die

Gegenspannung der Batterie allmählich bis auf 20 × 2,4 = 48 Volt, so daß die wirksame Spannung schließlich nur noch 110—48 = 62 Volt beträgt und der Widerstand daher dann bis auf $\frac{62}{10} = 6{,}2\ \Omega$ verkleinert werden kann.

Abgesehen von der Zunahme der Gegenspannung zeigt sich übrigens der voll geladene Zustand der Elemente beim Durchgang des Ladestromes auch einfach dadurch an, daß die Elektroden derselben anfangen, stärkere Gasblasen abzusondern oder zu „schäumen", wie man sagt; und sobald dieser Zustand in allen Zellen der Batterie erreicht ist, kann man demnach mit der Ladung aufhören. Das dabei entwickelte Gas besteht aus einem Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff und kann also, wenn man demselben keinen Abzug gewährt, unter Umständen zu Explosionen Veranlassung geben. Daher soll man in einem Raume, in welchem eine größere Akkumulatorenbatterie geladen wird, besonders gegen Schluß der Ladung für ausreichende Lüftung sorgen.

---

7. Kapitel.

Die Hochspannungsapparate.

Zur Erzeugung der in der Medizin gebräuchlichen Röntgenstrahlen sind je nach der Härte der Röntgenröhre Spannungen von etwa 20—150000 Volt, entsprechend einer Funkenlänge von etwa 1—30 cm, erforderlich. Diese werden nun gegenwärtig fast ausschließlich in sog. elektrischen Transformatoren erzeugt, Instrumenten, zu denen auch der altbekannte Induktionsapparat gehört, und die allgemein dazu bestimmt sind, um Ströme von niedriger Spannung in solche von höherer zu verwandeln oder umgekehrt. Dieselben bestehen in der Hauptsache aus zwei, sorgfältig voneinander isolierten Abteilungen von Kupferdraht, die beide spulenartig um einen gemeinschaftlichen Eisenkern gewickelt sind, und von denen in unserem Falle die eine, die Hochspannungsentwickelung, aus vielen tausend Windungen dünnen Drahtes, die andere, die Niederspannungsentwickelung, dagegen in der Regel aus einigen hundert Windungen eines dickeren Drahtes besteht.

In ähnlichem Maße nämlich, wie die Spannung in einem solchen Apparate erhöht wird, wird die Stromstärke darin erniedrigt, wie ja auch schon deswegen einleuchtet, weil das Produkt aus beiden Größen die elektrische Leistung darstellt (s. Kap. 5), und weil diese bei jener Transformation natürlich nicht zunehmen

kann. In der Hochspannungsspule eines Transformators ist demnach die Stromstärke stets erheblich kleiner als in der andern Wickelung desselben — in unserem Falle ungefähr um das Tausendfache —; und somit ist es denn auch verständlich, daß die Dicke des Kupferdrahtes in der ersteren nur etwa 0,1—0,2 mm, in der letzteren dagegen etwa 2—3 mm beträgt.

Ganz wesentlich für die Wirkungsweise des Transformators ist ferner noch der innerhalb beider Spulen befindliche Eisenkern. Das Vorhandensein gerade dieses Metalles deutet schon darauf hin, daß hierbei die bekannte magnetisierende Wirkung des elektrischen Stromes, d. h. die Fähigkeit desselben, in einem von ihm umflossenen Eisenstück Magnetismus zu erzeugen, in Frage kommt. Tatsächlich spielen sich denn auch die Vorgänge in unseren Transformatoren in der Weise ab, daß in dem Eisenkern derselben durch einen in die Niederspannungswickelung oder „primäre“ Spule des Instrumentes hineingeschickten elektrischen Strom von wechselnder Stärke ein Magnetismus von entsprechend wechselnder Stärke erzeugt wird, und daß dann in der Hochspannungswickelung oder „sekundären“ Spule des Instrumentes bei jeder Veränderung der Stärke dieses magnetischen Feldes durch sog. „Induktion“ eine elektrische Spannung erzeugt wird, deren Größe einerseits mit der Zahl der Windungen der sekundären Spule und andererseits auch mit der Änderungsgeschwindigkeit des in Rede stehenden magnetischen Feldes steigt. Durch gehörige Steigerung der beiden letztgenannten Momente lassen sich dann in der Sekundärspule eines solchen Transformators Spannungen erzeugen, welche Luftstrecken von 1 m Länge und darüber in Form eines elektrischen Funkens zu überbrücken vermögen, und welche auch zum Betriebe der härtesten, in der Praxis überhaupt noch brauchbaren Röntgenröhre mehr als ausreichend sind.

Theorie der Induktion

Bei dem oben geschilderten Vorgang der elektrischen Induktion haben wir demnach die eigentümliche Erscheinung vor uns, daß die in die primäre Rolle des Transformators hineingeschickte elektrische Energie zum mehr oder minder großen Teile in die sekundäre Spule des Instrumentes übertragen wird, trotzdem die letztere mit der ersteren gar nicht in irgend welcher metallischer Verbindung steht sondern im Gegenteil sehr sorgfältig davon isoliert ist. Das Bindeglied, welches diese Übertragung vermittelt, ist eben das magnetische Feld des Instrumentes: die beiden Spulen sind, wie man sagt, elektromagnetisch miteinander gekoppelt. Darüber, wie die Vorgänge hier im einzelnen verlaufen, hat man noch keine bestimmte Vorstellung; soviel ist aber wohl sicher, daß als Träger der elektromagnetischen Vorgänge der Lichtäther anzusehen ist;

denn dieser durchdringt ja alle Stoffe vollkommen und ist ferner auch der Träger der Lichtstrahlen, an deren elektromagnetischer Natur heute nicht mehr gezweifelt werden kann. Die Wichtigkeit des Eisenkernes eines Transformators leuchtet hiernach ohne weiteres ein; denn dieses Metall nimmt von allen bekannten Stoffen weitaus am meisten Magnetismus an, und in ihm läßt sich also auch am meisten elektromagnetische Energie aufspeichern und dann des weiteren auch von der primären in die sekundäre Spule des Transformators übertragen.

Gestalt des Eisenkernes

Das Eisen darf nun aber hier nicht etwa einfach in Form eines massiven Zylinders benutzt werden; denn dann würden bei dem Auf- und Abschwanken seines Magnetismus — ebenso wie in der ihn umgebenden Sekundärspule — so auch in ihm selbst Induktionsströme entstehen; und diese würden dann kreisförmig um seine Achse herumwirbeln und dadurch den Magnetismus der von ihnen umschlossenen Eisenteile aufrecht erhalten, so daß also der Abfall des magnetischen Feldes, der ja möglichst plötzlich vor sich gehen soll, dadurch erheblich verlangsamt werden würde. Außerdem aber würde auch das Eisen selbst durch die Wärmewirkung dieser sog. Foucaultschen Wirbelströme sehr stark erhitzt werden.

Darum besteht der Eisenkern eines Transformators entweder aus lauter einzelnen, in der Regel in eine Schellacklösung eingetauchten und dadurch voneinander isolierten Eisendrähten von etwa 1 mm Durchmesser oder besser aus einzelnen, aufeinandergelegten und durch geöltes Papier voneinander isolierten Eisenblechen von ähnlicher Dicke; denn in beiden Fällen können natürlich solche Wirbelströme nicht zustande kommen.

Die in der Röntgentechnik gebrauchten Hochspannungstransformatoren lassen sich nun aber noch gerade mit Bezug auf die verschiedene Gestalt ihres Eisenkerns in zwei Hauptgruppen teilen, nämlich in „Funkeninduktoren“ und „Funkentransformatoren“, die bzw. in den Figg. 41 und 42 schematisch dargestellt sind und bei denen der in obiger Weise zusammengesetzte, durch Längsschrafficrung gekennzeichnete Eisenkern E im ersteren Falle äußerlich die Form eines runden Stabes von etwa 4—8 cm Durchmesser und etwa 50—100 cm Länge hat, während er im letzteren Falle nach außen herum „magnetisch kurz geschlossen“ ist, wie die Figur zeigt.

Aufbau der Spulen

In welchen Fällen die eine oder die andere Form dieser Transformatoren zur Verwendung kommt, wird später erwähnt werden; hier dagegen mag hinsichtlich des Aufbaues dieser Instrumente noch erwähnt werden, daß die Windungen ihrer primären Spule

stets direkt um den Eisenkern herumgewickelt werden, und zwar in der Regel nur um denjenigen Teil desselben, welcher auch von der sekundären Spule umschlossen wird, welche letztere in den Figg. 41 und 42 an der weiteren Schraffirung zu erkennen ist. Zwischen ihr und den von ihr umschlossenen Windungen der

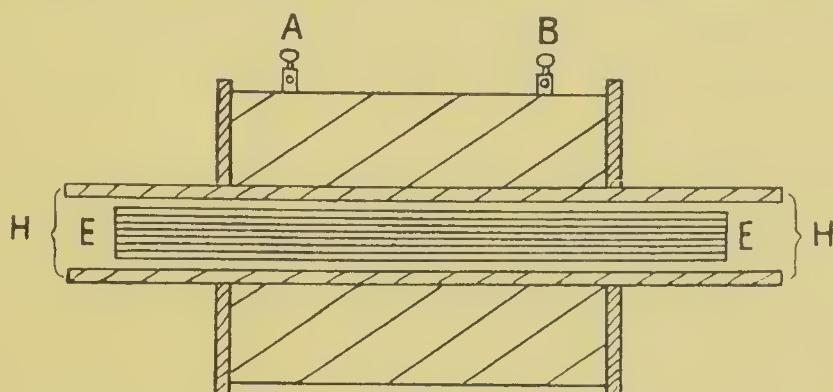


Fig. 41.

Primärspule muß übrigens stets noch ein möglichst vollkommen isolierendes, und daher in der Regel aus Hartgummi bestehendes Rohr *HH* eingeschoben werden, da sonst die in der Sekundärspule erzeugte hohe Spannung in die Metallteile der primären Spule hineinschlagen würde, statt von den äußeren Polen *A* und *B* jener Spule aus den Weg durch die Röntgenröhre zu nehmen. Schließ-

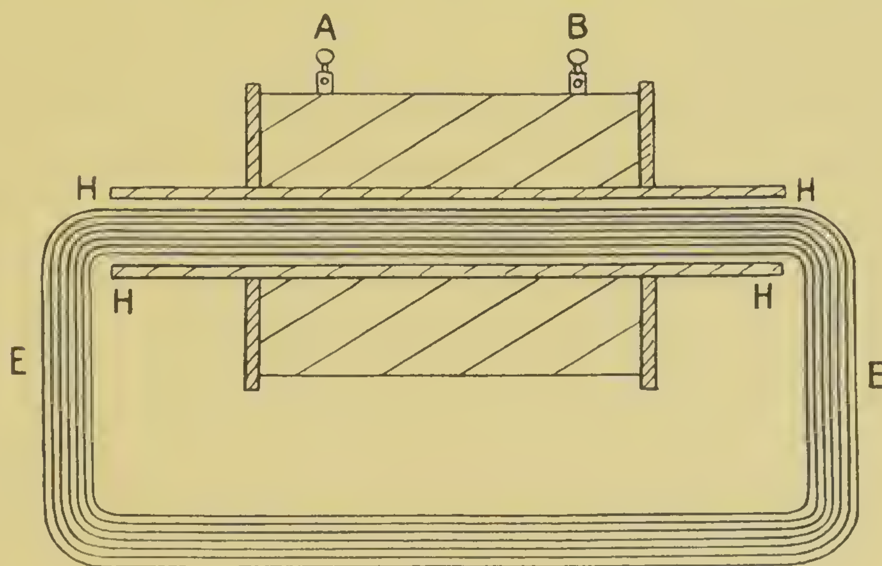


Fig. 42.

lich sei noch erwähnt, daß auch die Windungen der Primärspule durch Isolierband sorgfältig vor gegenseitiger Berührung sowie auch vor der des Eisenkerns zu schützen sind, da auch in ihr, wie wir später sehen werden, viel höhere Spannungen zustande kommen, als diejenige ist, mit welcher der in ihr kreisende Strom erzeugt wird.

Was nun aber die in der sekundären Spule dieser Instrumente

erzeugte Induktionsspannung des näheren angeht, so mag zunächst noch einmal daran erinnert werden, daß sie immer nur bei einer Veränderung der Stärke des von der Spule umgebenen magnetischen Feldes zustande kommt, nicht aber z. B. dann, wenn durch die primäre Spule ein andauernd gleichmäßiger Strom fließt, und also dadurch in ihr und auch in der Sekundärspule ein andauernd gleichstarkes magnetisches Feld erzeugt wird, wie stark auch dieses Feld sein mag.

Weiter ist hinsichtlich der Vorgänge bei der Induktion noch zu bemerken, daß die beim Anwachsen des magnetischen Feldes eines Transformators in seiner sekundären Spule erzeugte Induktionsspannung die entgegengesetzte Polarität von derjenigen erhält, welche beim Abfall des Feldes entsteht; d. h., wenn von den beiden Polen *A* und *B* dieser Spule (Fig. 41 oder 42) im ersteren Falle z. B. *A* positiv und also *B* dann negativ elektrisch wird, so tritt im letzteren Falle umgekehrt bei *B* positive und bei *A* negative Elektrizität auf, und in der mit *A* und *B* verbundenen Röntgenröhre wird daher auch in beiden Fällen ein Strom von entgegengesetzter Richtung zustande kommen.

Nun ist aber die Röntgenröhre, wie wir wissen, ein Apparat, der nur Strom von einer Richtung gebrauchen kann — nämlich nur solchen, bei dem ihre Kathode negativer und ihre Antikathode positiver Pol ist —; und da nun andererseits bei fortlaufendem Betriebe eines Transformators das Ansteigen und Abfallen seines magnetischen Feldes notwendigerweise periodisch aufeinander folgen müssen, so erscheint daher der letztgenannte Apparat von vornherein für unsern Zweck durchaus ungeeignet.

Tatsächlich kann er denn auch dazu nur durch Benutzung weiterer Hilfsapparate brauchbar gemacht werden, Apparate, die nun aber je nach der Art des zum Betriebe des Transformators benutzten primären Stromes sehr verschieden sind.

Induktionsapparat

Bei der ältesten und gegenwärtig auch noch am meisten benutzten Betriebsweise des Transformators, bei welcher man dazu einfach gewöhnlichen Gleichstrom benutzt, wie er von einer Akkumulatorenbatterie oder auch von einem, Gleichstrom erzeugenden Elektrizitätswerk geliefert wird, muß nämlich in den primären Stromkreis — außer dem, natürlich in allen Fällen notwendigen Regulierwiderstand — als Hilfsapparat noch ein sog. Unterbrecher eingeschaltet werden, so daß also der Stromkreis in diesem Falle schematisch durch die Fig. 43 dargestellt werden kann. Darin ist *E* die Elektrizitätsquelle (Gleichstromquelle), *S* der Hauptausschalter des Stromes, *W* der Regulierwiderstand, *P* die primäre Spule des Transformators — als solcher wird in diesem Falle aus-

schließlich die Form der Fig. 41, d. h. also ein sog. Funkeninduktor benutzt — und schließlich *U* der Unterbrecher. Die Reihenfolge, in welcher die verschiedenen Apparate in den Stromkreis der Fig. 43 eingeschaltet werden, ist gleichgültig.

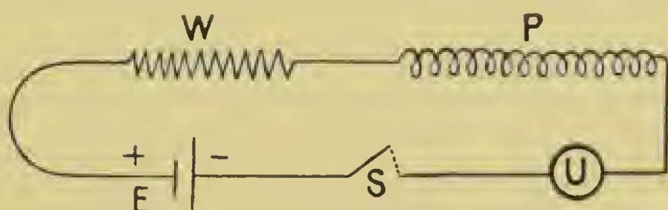


Fig. 43.

Die Aufgabe des Unterbrechers im besonderen besteht nun hier zunächst darin, durch fortwährendes Unterbrechen und Schließen des Stromkreises jenes abwechselnde Ansteigen und Abfallen des darin fließenden Stromes und somit auch jenes entsprechende Auf- und Abschwanken des magnetischen Feldes des Induktors zu bewirken, das ja zum Zustandekommen der Induktionswirkungen in diesem Apparate in erster Linie notwendig ist. Der Hauptzweck des Unterbrechers liegt jedoch, wie ja auch schon der Name sagt, in den von ihm hervorgerufenen Unterbrechungen jenes Stromes, insofern es nämlich hier darauf ankommt, den hierbei stattfindenden, jedesmaligen Abfall des magnetischen Feldes des Induktors mit einer ganz außerordentlich viel größeren Geschwindigkeit vor sich gehen zu lassen als den zwischen die einzelnen Unterbrechungen fallenden jedesmaligen Anstieg desselben. Die Folge hiervon ist dann die, daß die, bei jeder solchen Unterbrechung des primären Stromes in der sekundären Spule des Instrumentes entstehende Induktionsspannung, die man die sekundäre Unterbrechungs- oder Öffnungsspannung des Instrumentes nennt, ebenfalls ganz außerordentlich viel höher ist als die, bei der Schließung jenes Stromes entstehende sekundäre Schließungsspannung, so daß die erstere leicht eine Luftstrecke von 30 cm und mehr überschlägt, während die letztere unter denselben Umständen in der Regel nicht einmal einen Funken von einigen Millimetern Länge zu bilden vermag. Und da nun auch der Gasinhalt einer Röntgenröhre — ähnlich wie die gewöhnliche Luft — die Elektrizität nur dann durch sich hindurchläßt, wenn die letztere eine so hohe Spannung hat, daß sie in gewöhnlicher Luft schon zum mindesten einen Funken von einigen Zentimetern Länge zu erzeugen vermag, so wird mithin von den beiden genannten Spannungen des Induktors im allgemeinen auch nur die Öffnungsspannung imstande sein, in die Röhre einzutreten; und die letztere wird also dann bei den stoßweise aufeinander folgenden Unterbrechungen des primären Stromes ebenfalls von stoßweise aufeinander folgenden Strömen

durchsetzt werden, die sämtlich die gleiche Richtung haben, worauf es ja in letzter Hinsicht auch nur ankommt.

Wenn dagegen durch ungeeignete Bauart oder Betriebsweise des Induktors auch seine sekundäre Schließungsspannung eine größere Höhe erreicht, so werden außer jenen Öffnungsströmen des Induktors auch die, von dieser letzteren Spannung bewirkten Schließungsströme in die Röhre eintreten, Ströme, die, wie in Kap. 2 dargelegt wurde, vor allem deswegen zu vermeiden sind, weil sie eine Zerstäubung des Platinüberzuges der Antikathode hervorrufen und dadurch ganz erheblich zur Verkürzung der Lebensdauer der Röhre beitragen.

Verlauf der Ströme im Induktor

Die Hauptaufgabe des mit dem Induktionsapparat arbeitenden Röntgenologen besteht demnach darin, durch geeignete Betriebsweise dieses Apparates die darin entstehende sekundäre Schließungs-

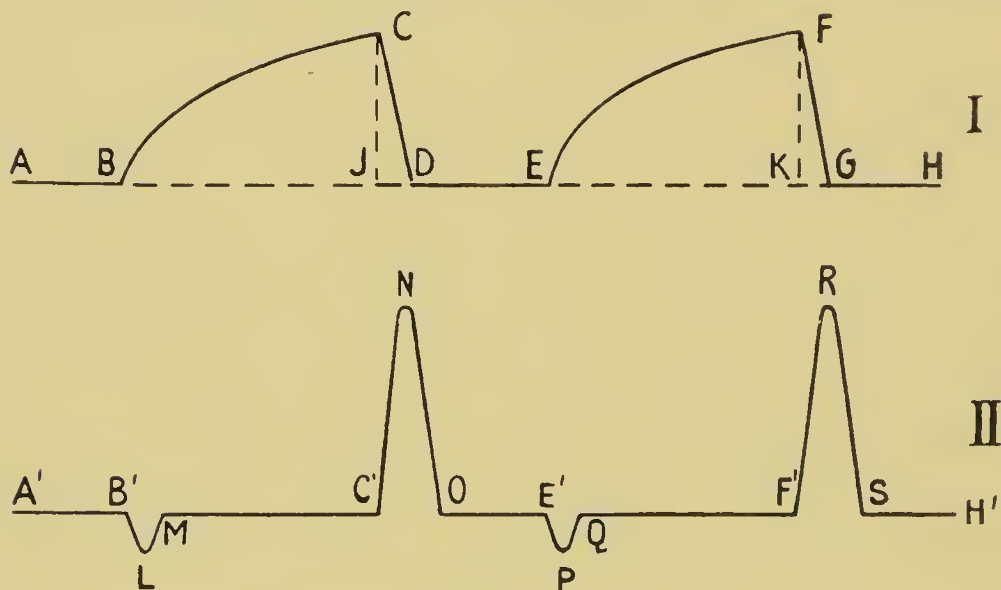


Fig. 44.

spannung möglichst niedrig zu halten, ohne deswegen aber diejenige der Öffnungsspannung ungebührlich zu verkleinern. Dieser Aufgabe kann er aber natürlich nur dann in vollem Umfange gewachsen sein, wenn er die Vorgänge, welche sich bei der Schließung und Öffnung des primären Stromes in den beiden Spulen des Induktors abspielen, mit genügender Klarheit übersieht. Zu diesem Zwecke stellen wir uns, wie in Fig. 44 geschehen ist, den Verlauf des primären und sekundären Stromes eines Induktors bzw. durch die Kurven I und II dar, die zueinander in der Weise zusammengehören, daß deren untereinanderliegende Teile sich zeitlich immer auf dieselben Augenblicke beziehen. In den beiden Abteilungen der Figur sollen nämlich die horizontalen, teils ausgezogenen, teils unterbrochenen geraden Linien *AH* bzw. *A'H'* den Verlauf der Zeit angeben — und zwar geht dieser Verlauf von links nach rechts —, während die durchgehends aus-

gezogenen, zum Teil geradlinigen, zum Teil gekrümmten Kurven *ABCDEFGH* bzw. *A'B'LMC'NOE'PQFRSH'*, die stellenweise auch mit den Geraden *AH* bzw. *A'H'* zusammenfallen, durch ihre „Ordinaten“, d. h. die senkrechten Abstände ihrer einzelnen Punkte von *AH* bzw. *A'H'*, die zu den darunter liegenden Zeitpunkten zugehörigen Werte des primären bzw. sekundären Stromes selbst kennen lehren. Überall da, wo die genannten „Stromkurven“ mit ihrer zugehörigen Zeitachse zusammenfallen, in Fig. I also z. B. für die Zeiträume *AB*, *DE* und *GH*, ist mithin der Wert des betreffenden Stromes gleich Null, was speziell für den primären Strom die Bedeutung hat, daß er unterbrochen ist. Die Punkte *B* und *E* ferner stellen denjenigen Augenblick dar, wo dieser Strom durch den Unterbrecher gerade geschlossen wird, und zwar sind *B* und *E* zwei, zeitlich aufeinanderfolgende, sich vollkommen entsprechende Augenblicke, d. h. die Vorgänge im Unterbrecher und also auch die im Induktor wiederholen sich vom Zeitpunkte *E* aus in derselben Weise wie von *B* aus. Demnach sind also auch die Zeiten *BJ* und *EK*, welche jedesmal zwischen der Stromschließung und dem Beginn der darauffolgenden Unterbrechung liegen, einander gleich, woraus dann weiter folgt, daß auch die Zeit *JK* zwischen zwei aufeinanderfolgenden Unterbrechungen gleich der Zeit *BE* zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schließungen ist, denn es ist $JK = JE + EK = JE + BJ = BE$. Wenn demnach ein Unterbrecher den primären Strom des Induktors z. B. 40 mal in der Sekunde unterbricht, so ist dann in unserer Fig. 44 die Strecke $JK = BE = {}^1/_{40}$ Sekunde.

Von den Zeitpunkten *B* und *E* ab beginnt nun der Anstieg des primären Stromes und damit auch der des magnetischen Feldes des Induktors, so daß also auch in diesem Augenblick in der sekundären Spule des Instrumentes unter allen Umständen eine elektrische Spannung erzeugt wird. Ein elektrischer Strom dagegen entsteht hierbei in dieser Spule nur dann, wenn diese Spannung hoch genug ist, um den an die beiden Enden der Spule angelegten elektrischen Widerstand, d. h. in unserem Falle also das Vakuum der Röntgenröhre, zu durchbrechen. In der Figur 44 ist angenommen, daß dies zum Teil der Fall sei; und es ist deshalb auch in dem unteren Teile derselben der entsprechende sekundäre Schließungsstrom durch die kleinen Kurven *B'LM* bzw. *E'PQ* angedeutet, die in diesem Falle nach unten zu, d. h. nach der entgegengesetzten Seite wie der primäre Strom, gezeichnet sind, weil der sekundäre Schließungsstrom, wenn er zustande kommt, den Eisenkern stets im entgegengesetzten Sinne umkreist wie der primäre Strom, bei dessen Schließung er entsteht.

Auf die Maßregeln, welche man zu ergreifen hat, um das Zustandekommen des für die Röntgenröhre schädlichen sekundären Schließungsstromes eines Induktors zu verhindern, werden wir weiter unten zurückkommen. Zunächst nämlich möge hier der allgemeine Verlauf der Vorgänge in den beiden Spulen dieses Apparates an der Hand der Fig. 44 weiter verfolgt werden.

In den Augenblicken *B* und *E* dieser Figur, wo also der primäre Stromkreis durch den Unterbrecher geschlossen wird, wird nun durch den jetzt erfolgenden Anstieg des magnetischen Feldes des Apparates — genau so wie in den sekundären Windungen desselben — so auch in den primären eine Induktionsspannung erzeugt, ein Vorgang, der als Selbstinduktion bezeichnet wird. Auch die Polarität dieser „primären Schließungsspannung" ist — genau so wie die der sekundären — der Polarität der Betriebsspannung entgegengesetzt; und wenn nun auch der jener sekundären Schließungsspannung entsprechende Schließungsstrom im normalen Röntgenbetriebe nicht zustande kommen darf, so ist dies für den hier in Rede stehenden primären Schließungsstrom selbstverständlich nicht zu umgehen; denn dieser findet ja in dem eben geschlossenen primären Stromkreise eine vorzüglich leitende Bahn vor, so daß er demnach auch stets in seiner vollen Stärke zur Geltung kommt. Sein Dasein aber verrät sich in diesem Falle dadurch, daß der primäre Strom hier nicht, wie er es in einem gewöhnlichen Stromkreise, d. h. in einem solchen ohne magnetisches Feld, tut, plötzlich auf seinen vollen Wert springt — dieser volle Wert ist nämlich derjenige, welcher sich nach dem Ohmschen Gesetze aus Betriebsspannung *E* und Widerstand *W* des Kreises ergibt — sondern der primäre Strom steigt vielmehr in unserem Falle, wie die Fig. 44, I, zeigt, von den Punkten *B* und *E* ab nur allmählich an und zwar um so langsamer, je geringer einesteils die primäre Betriebsspannung und je größer anderenteils die „Selbstinduktion", d. h. die magnetische Trägheit der primären Spule des Induktors ist. Dies leuchtet übrigens auch ohne weiteres ein; denn, was zunächst jene Spannung anbetrifft, so stellt sie offenbar die antreibende Kraft dar, welche die Elektrizität in den primären Stromkreis gewissermaßen hineinpreßt, während die magnetische Trägheit der primären Spule andererseits hier ähnlich wie die träge Masse eines Schwungrades wirkt und sich also der Entstehung des magnetischen Feldes dieser Spule um so mehr entgegenstellt, je größer diese Trägheit, d. h. also die Selbstinduktion der Spule ist.

Der Vergleich des magnetischen Feldes mit einem Schwungrade läßt sich aber noch viel weiter durchführen; denn er behält seine Gültigkeit vor allem auch noch darin, daß auch bei ersterem

ebenso wie bei letzterem der Widerstand gegen die Bewegung zu Anfang am stärksten ist und von da ab um so kleiner wird, je mehr sich die Geschwindigkeit des Rades, d. h. in unserem Falle die Stärke des magnetischen Feldes, ihrem Endzustand nähert. Daraus folgt dann, daß der Anstieg dieses Feldes und ebenso auch der des damit parallel gehenden primären Stromes nach einer allmählich immer langsamer ansteigenden, oder genauer nach einer sog. logarithmischen Kurve vor sich geht, wie solche in Fig. 44, I, in den gekrümmten Linien BC und EF dargestellt ist. Die Ordinaten JC und KF bedeuten dann diejenigen Werte des primären Stromes, welche er in dem Augenblick erreicht hat, wo die Unterbrechung beginnt; und von der Größe dieser Stromstärke hängt nun offenbar die Stärke des magnetischen Feldes des Induktors in diesem Augenblicke und daher weiter auch die Größe der, bei der Unterbrechung des Stromes von diesem Felde aus in die sekundäre Spule des Instrumentes übertragenen Induktionswirkung ab, auf die es ja im Röntgenbetriebe nur ankommt.

Auch bei dieser Wirkung läßt uns übrigens unser obiger Vergleich des magnetischen Feldes eines solchen Transformators mit einem Schwungrade nicht im Stiche; denn die jetzt in Rede stehende plötzliche Unterbrechung des primären Stromes ist danach offenbar gleichbedeutend mit einem plötzlichen Anhalten des Rades; und wie nun hierbei die im letzteren aufgespeicherte Bewegungsenergie in den das Anhalten bewirkenden Flächen als Reibungswärme zum Vorschein kommt, so tritt auch in unserem Falle die in dem magnetischen Felde des Instrumentes aufgespeicherte Energie wieder in den, in den primären und sekundären Windungen des Instrumentes erzeugten Induktionswirkungen zutage.

Die Polarität der hierbei in diesen Spulen entstehenden Induktionsspannungen, d. h. also die der „primären“ bzw. „sekundären Öffnungsspannung“, ist nun jedoch derjenigen der bei der Schließung des primären Stromes entstandenen entgegengesetzt, denn ebenso wie sich bei der Schließung die Trägheit des Schwungrades dem Zustandekommen der Bewegung entgegenstellte, so setzt sie sich jetzt bei der Öffnung des Stromes ihrem Aufhören entgegen, was, in die Sprache des magnetischen Feldes übertragen, soviel bedeutet, als daß die jetzt bei der Unterbrechung des magnetischen Feldes in den beiden Spulen des Induktors entstehenden Induktionsströme dieselbe Richtung haben müssen wie derjenige Strom, welcher das magnetische Feld erzeugte; denn dann haben eben jene Induktionsströme das Bestreben, das Aufhören des magnetischen Feldes zu verhindern.

Was nun aber zunächst den, bei der Unterbrechung des primären Stromes in der sekundären Spule des Instrumentes zustandekommen- Sekundärer Öffnungsstrom

den Induktionsstrom betrifft, der uns natürlich am meisten angeht, so hat derselbe also nach dem soeben Gesagten die entgegengesetzte Richtung wie der Schließungsstrom derselben Spule und ist demnach in der Fig. 44, II durch eine Kurve darzustellen, die von der Zeitachse $A'H'$ aus nach oben zu geht. $C'NO$ bzw. $F'RS$ stellen zwei solche aufeinanderfolgende sekundäre Öffnungsströme dar, während CD und FG den zugehörigen Abfall des primären Stromes oder auch den des damit parallel gehenden magnetischen Feldes des Induktors andeuten. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß bei einem guten Unterbrecher wenigstens ein Teil dieses Abfalls noch viel schneller vor sich geht, als es in der Figur mit Rücksicht auf die Deutlichkeit gezeichnet werden konnte, denn eben durch diesen steilen Abfall des primären Stromes bzw. magnetischen Feldes wird ja erst jene hohe Spannung erzeugt, welche zum Durchbrechen des in den sekundären Stromkreis des Instrumentes eingeschalteten hohen Widerstandes der Röntgenröhre nötig ist. Der sekundäre Strom dagegen pflegt, wenn er erst einmal in Gang gebracht ist, beträchtlich länger anzuhalten als der eigentliche Unterbrechungsvorgang im primären Stromkreise; und zwar wächst die Dauer dieser sekundären Stromstöße, d. h. also die Länge der Strecken $C'O$ und $F'S$ in der Fig. 44, II, vor allem mit der Zahl der Windungen der sekundären Spule des Induktors, d. h. also im allgemeinen auch mit der Schlagweite desselben. So betrug z. B. nach Versuchen des Verfassers die Dauer der einzelnen, durch eine Röntgenröhre mittlerer Härte bei normaler Belastung derselben hindurchgehenden Öffnungsstromstöße bei Anwendung eines Induktors von 30 cm maximaler Schlagweite nur ungefähr 0,0003 Sekunden, während sie bei einem 60 cm-Induktor derselben Fabrik unter den gleichen Umständen ungefähr 10mal so groß war. Die Zahl der Unterbrechungen war in beiden Fällen 25 in der Sekunde, so daß mithin bei diesen Versuchen die Länge der Strecken $BE = B'E'$ in Fig. 44 gleich $^1/_{25}$ oder 0,04 Sekunde, die der Strecken $C'O = F'S$ dagegen im Falle des 60 cm-Induktors ungefähr $^1/_{13}$ von $B'E'$ und im Falle des 30 cm-Instrumentes sogar nur $^1/_{130}$ davon betrug. Das Größenverhältnis dieser beiden Zeiträume ändert sich aber natürlich auch für dasselbe Instrument noch je nach der Zahl der Unterbrechungen sowie auch nach der Größe der in den einzelnen Stromstößen enthaltenen Energiemengen, die ihrerseits wieder, wie schon oben dargelegt wurde, von der Größe der „primären Öffnungsstromstärke“ JC oder KF in der Fig. 44 I, abhängt.

Kleine und große Induktoren

In der soeben angegebenen Tatsache, daß die, bei den einzelnen Unterbrechungen des primären Stromes eines Induktors in der

sekundären Rolle desselben erzeugten Elektrizitätsmengen sich bei einem größeren Instrument auf einen viel größeren Zeitraum verteilen als bei einem kleineren, ist nun übrigens auch hauptsächlich der Grund für die zuerst durch die Praxis erhärtete Tatsache zu suchen, daß im allgemeinen der Röntgenbetrieb mit einem größeren Induktor oder genauer mit einem solchen von größerer sekundärer Windungszahl vorteilhafter ist als mit einem solchen von weniger Windungen. Denn, wie wir in Kap. 4 gesehen haben, ist die Wirkung, die ein

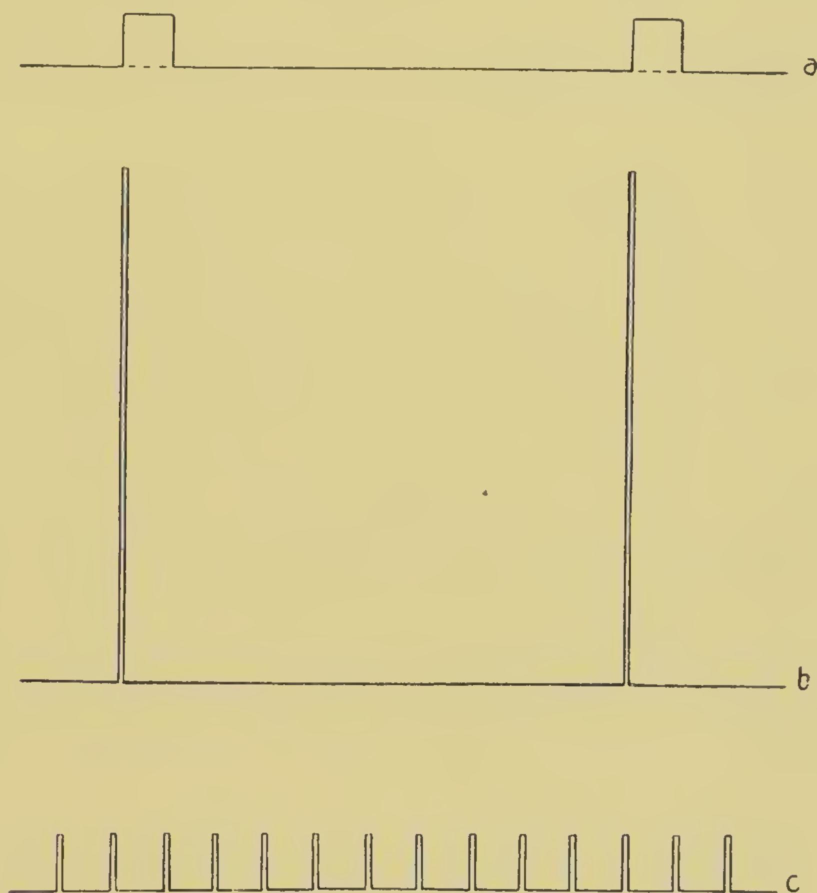


Fig. 45.

jeder solcher Stromstoß in der Röntgenröhre hervorruft, proportional der von ihm mitgeführten Elektrizitätsmenge, d. h. gleich dem Produkt aus der Stromstärke und der Fließzeit des Stromstoßes; und da nun diese letztere Zeit nach den obenerwähnten Versuchen bei den Öffnungsinduktionsstromstößen des kleineren Induktors für die gleiche Belastung einer Röntgenröhre 10 mal kleiner ist als die des größeren — dessen sekundäre Windungszahl übrigens nur etwa doppelt so groß war —, so muß man mithin, um den dadurch bedingten Unterschied wieder einzuholen, bei dem kleineren Instrument entweder die Momentanwerte der Stromstärke in den einzelnen Stromstößen entsprechend erhöhen oder aber die Zahl der Unterbrechungen entsprechend vergrößern. Beide Fälle sind bzw. in der Fig. 45 b und c dargestellt, während die Fig. a daselbst den Verlauf der gleich wirksamen Stromstöße in dem größeren Apparat

darstellt; und zwar ist der Einfachheit wegen in allen diesen Figuren die Stärke des sekundären Stromes von Anfang bis zu Ende gleich groß angenommen, was übrigens auch meistenteis der Wirklichkeit ziemlich nahe kommt.

Der Vergleich der Stromkurven b und c des kleineren Induktors mit derjenigen des größeren zeigt nun aber sofort, daß jede der beiden ersteren der letzteren gegenüber ihre Schattenseiten hat. Denn was zunächst den Fall b angeht, so ist klar, daß hierbei der Anprall der Kathodenstrahlenteilchen in der Röntgenröhre auf viel kürzere Zeiträume zusammengedrängt wird und daher auch die von ihnen auf der Antikathode erzeugte Wärme nicht so gut abgeleitet werden kann wie im Falle a.

Macht man dagegen andererseits, um die großen Momentanwerte der Stromstärke zu vermeiden, bei dem kleineren Induktor die Zahl der Unterbrechungen des primären Stromes entsprechend größer, ein Fall, der in Fig. 45 c dargestellt ist, so stößt man — abgesehen von den Schwierigkeiten, denen man dabei im Unterbrecher selbst begegnet — auch im Induktor auf den Übelstand, daß dann die, den einzelnen Schließungen des primären Stromes entsprechenden sekundären Schließungsspannungen so außerordentlich schnell auf den vorhergehenden Öffnungsstrom folgen, daß dann die Röntgenröhre die elektrische Leitfähigkeit, welche sie infolge des Durchgangs dieser Öffnungsströme angenommen hat, inzwischen noch nicht wieder in genügendem Maße verloren hat, und mithin in diesem Falle viel leichter von jener Schließungsspannung durchschlagen wird als in dem Falle a, trotzdem diese Spannung bei dem kleineren Induktor im allgemeinen natürlich kleiner ist als bei dem größeren. Tatsächlich ist es denn auch bei Anwendung eines kleineren Induktors, d. h. eines solchen mit verhältnismäßig wenig sekundären Windungen, erheblich schwerer, die sekundären Schließungsströme von der Röntgenröhre fernzuhalten, als bei einem größeren Instrument; und so kommt man daher auch im ersteren Falle kaum ohne Ventilröhre aus, während dieses Auskunftsmittel im letzteren Falle höchstens dann nötig wird, wenn es sich um Momentaufnahmen handelt. Denn für diesen Zweck muß man eben, um die nötige Energie in der Röhre zu erreichen, auch bei dem größeren Instrument die Zahl der Unterbrechungen derartig erhöhen, daß die Zeit zwischen dem Unterbrechungsstromstoß und der darauffolgenden Stromschließung so kurz wird, daß sich der Eintritt der sekundären Schließungsspannung in die Röntgenröhre ohne Drosselröhre nicht mehr vermeiden läßt.

Primärer Öffnungsfunke

Kehren wir nun aber wieder zu den Stromkurven der Fig. 44 zurück, so ist dazu weiter noch zu bemerken, daß diejenige des

primären Stromes vom Beginne der Unterbrechung, d. h. also von den Momenten J bzw. K an stets sehr schnell und auch unaufhörlich abfällt, und daß in diesem Augenblicke nicht etwa in diesem Stromkreise ein besonders starker „Extrastrom“ entsteht, wie man in älteren Lehrbüchern angegeben findet. Dieser Extrastrom sollte nämlich die Ursache dafür sein, daß bei der Unterbrechung des primären Stromes an der Unterbrechungsstelle desselben stets ein sehr starker Funke auftritt, in dessen Beseitigung eben, wie wir später sehen werden, eine Hauptaufgabe der meisten Unterbrecher besteht. Daß indessen der primäre Strom während seiner Unterbrechung nur abfallen und nicht etwa auch wieder ansteigen kann, folgt schon einfach daraus, weil ohne Stromabfall auch kein Abfall des magnetischen Feldes des Induktors und daher auch überhaupt keine Induktionswirkung — weder in der sekundären noch in der primären Spule des Apparates — stattfinden würde. Auch deutet jener Unterbrechungsfunke im primären Stromkreise durchaus nicht auf einen besonders starken Wert des darin kreisenden Stromes, sondern vielmehr lediglich darauf hin, daß in diesem Augenblick an den Enden der Unterbrechungsstelle eine verhältnismäßig hohe Spannung entsteht. Tatsächlich ist denn auch die eigentliche Ursache jenes Funkens einfach in der „primären Öffnungsspannung“ des Induktors zu suchen, einer Spannung, die in letzter Hinsicht auf denselben Vorgang zurückzuführen ist wie die gleichzeitig mit ihr in der sekundären Spule des Instrumentes auftretende „sekundäre Öffnungsspannung“: nämlich auf das schnelle Verschwinden seines magnetischen Feldes. Denn dieses Feld wird ja von den Windungen der primären Spule genau so gut umschlossen wie von denen der sekundären, und es muß daher auch bei seinem Verschwinden auf die ersteren genau so gut induzierend wirken wie auf die letzteren. Ja, aus den oben erwähnten Induktionsgesetzen ergibt sich sogar sehr einfach, daß die Höhe der primären Öffnungsspannung zu der der sekundären genau im Verhältnis der Windungszahlen der beiden Spulen stehen muß, so daß mithin, wenn man dieses Verhältnis, das sog. „Übersetzungsverhältnis“ des Induktors, kennt, die Größe der einen Spannung sich unmittelbar aus der der andern berechnen läßt.

Diejenige der hier in Rede stehenden primären Öffnungsspannung kann man nun in sehr einfacher Weise dadurch messen, daß man die beiden Enden der Unterbrechungsstelle des primären Stromes mit einem sog. Funkenmikrometer verbindet, d. h. einer Funkenstrecke, bei der sich der Abstand der Elektroden mit Hilfe eines sehr feinen Schraubengewindes bis auf Bruchteile eines Millimeters genau bestimmen läßt, und mit der man daher auch solche Spannungen

messen kann, die nur momentan auftreten, und deren Größe nur einige hundert bis einige tausend Volt beträgt. Dieselben ergeben sich dann nämlich einfach aus der Länge der größten von ihnen durchschlagenen Luftstrecke. Auf diese Weise wurde nun tatsächlich zuerst vom Verfasser der Nachweis geführt, daß auch schon im primären Stromkreise eines Induktors bei der Unterbrechung des Stromes zwischen den Drahtenden der Unterbrechungsstelle Spannungen von mehreren tausend Volt auftreten, selbst wenn die Betriebsspannung, die zur Erzeugung des primären Stromes dient, nur wenige Volt beträgt; und damit war denn auch die eigentliche Ursache des an der Unterbrechungsstelle dieses Stromes auftretenden sehr starken Unterbrechungsfunkens aufgeklärt.

Dieser Funken entsteht natürlich stets dort, wo die Unterbrechung des Stromes stattfindet, d. h. also bei normalem Betriebe des Induktors im Unterbrecher, seine eigentliche Ursache dagegen ist in der primären Spule des Induktors und zwar in der, sich an den Enden dieser Spule in dem Augenblicke der Unterbrechung ausbildenden primären Öffnungsspannung zu suchen. Daß dies der Fall ist, ergibt sich einfach daraus, daß man zwischen den Enden dieser Spule mit dem Funkenmikrometer dieselbe maximale Länge des primären Unterbrechungsfunkens findet wie zwischen den beiden Enden der Unterbrechungsstelle des Stromes selbst.

Isolation der Primärspule

Aus allem diesem leuchtet zugleich auch ein, daß die Isolation der Leitungen des primären Stromkreises eines Induktors voneinander nicht etwa bloß auf die in diesem Kreise benutzte Betriebsspannung zugeschnitten werden muß, die ja höchstens einige hundert Volt zu betragen pflegt, sondern daß hierbei vielmehr mit Spannungen von einigen tausend Volt zu rechnen ist. Besonders wichtig aber ist hierbei die Isolation der Windungen der Primärspule gegen einander; denn, wenn diese mangelhaft ist, so kann dadurch sogar der Durchschlag des Funkens der sekundären Spule zur primären hin herbeigeführt werden, indem nämlich ein an der Primärspule stattfindender Funkenüberschlag den die letztere dicht umschließenden Hartgummizylinder zunächst von innen heraus anbrennt und so die Isolation zwischen der primären und sekundären Drahtleitung vermindert, bis schließlich die hohe Spannung der letzteren zum Durchschlag führt.

Höhe der Betriebsspannung

Es muß hier ferner noch besonders betont werden, daß die Höhe der primären Öffnungsspannung, die ja nach dem Obigen als die eigentliche Ursache des Öffnungsfunkens im Unterbrecher anzusehen ist, nicht etwa von der Höhe der zur Erzeugung des primären Stromes benutzten Betriebsspannung abhängt, so daß es also mit Rücksicht hierauf ganz gleichgültig ist, ob man zur Er-

zeugung dieses Stromes die verhältnismäßig niedrige Spannung einer Akkumulatorenbatterie von 10—20 Zellen oder diejenige eines Gleichstromnetzes von 110 oder 220 Volt benutzt. Betriebsspannungen von der letztgenannten Größe — oder gar noch höhere sind für uns allerdings nicht mehr besonders geeignet, aber nicht etwa, weil sie einen stärkeren Unterbrechungsfunken erzeugen, sondern weil sie, wie wir später sehen werden, die sekundäre Schließungsspannung des Induktors erhöhen und so die Ausbildung verkehrt gerichteter Ströme in der Röntgenröhre erleichtern.

Ebensowenig aber, wie die Höhe der primären Öffnungsspannung von der in diesem Stromkreis benutzten Betriebsspannung abhängt, gilt dies auch für diejenige der sekundären Öffnungsspannung, die ja eine der wichtigsten Aufgaben des ganzen Unterbrechungsvorganges bildet. Auch dies ergibt sich nach den obigen Darlegungen ohne weiteres; denn die sämtlichen Vorgänge, welche sich bei der Unterbrechung des primären Stromes eines Induktors abspielen, hängen im wesentlichen nur noch von der Größe des magnetischen Feldes des Instrumentes beim Beginne der Unterbrechung, d. h. also von der Größe der Ordinaten JC bzw. KF in der Fig. 44, I ab, die wir oben als die „primäre Öffnungsstromstärke" bezeichnet haben. Ja, beim Quecksilberunterbrecher ist sogar, wie zuerst vom Verfasser gezeigt wurde, die Größe der mit einer bestimmten Schaltung eines Induktors zu erreichenden größten Funkenlänge direkt proportional mit jener Stromstärke JC; während es dabei vollkommen gleichgültig ist, ob dieser Strom mit einer Betriebsspannung von 6 Volt oder einer solchen von 220 Volt erhalten wird.

Wenn nun aber somit auch die Höhe der Betriebsspannung auf den Vorgang der Unterbrechung des primären Stromes des Induktors, dessen Wirkungen wir ja im Röntgenbetriebe benützen, keinen direkten Einfluß mehr ausübt, so spielt dieselbe deswegen in diesem Betriebe doch noch in indirekter Weise eine Rolle und zwar einmal deswegen, weil mit ihrer Größe einesteils die Leistungsfähigkeit des Induktors und andernteils aber auch die Höhe seiner sekundären Schließungsspannung steigt.

Was nämlich zunächst den ersteren Punkt betrifft, so geht, je höher die Betriebsspannung ist, um so schneller auch der Anstieg des primären Stromes nach seiner jedesmaligen Schließung vor sich, und um so weniger Zeit dauert es also auch, bis der Strom eine bestimmte Größe JC (Fig. 44 I) erreicht hat, von der ja nach dem Obigen die Größe der Wirkung bei der betreffenden Unterbrechung abhängt. Daraus folgt dann aber offenbar, daß man, je höher die Betriebsspannung, um so größer auch die Zahl der Unterbrechungen

Leistungsfähigkeit des Induktors

nehmen kann, ohne daß deswegen die Leistung jeder einzelnen Unterbrechung herabzugehen braucht. Der Wichtigkeit dieser Verhältnisse wegen wollen wir ein bestimmtes Beispiel ins Auge fassen. Wir nehmen also an, daß es sich darum handele, bei jeder Unterbrechung des Induktors eine Elektrizitätsmenge von bestimmter Größe durch die Röntgenröhre zu schicken, und daß zu diesem Zwecke die primäre Öffnungsstromstärke JC (Fig. 44) zu mindestens 6 Ampère betragen müsse. Die Formel, nach welcher der primäre Strom i eines Induktors nach seiner Schließung ansteigt, lautet nun

1) $$i = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right),$$

worin E die Betriebsspannung, R der Widerstand des ganzen primären Stromkreises, L der Selbstinduktionskoeffizient der primären Spule des Induktors, t die Zeit vom Beginn des Anstiegs an und e die Basis des natürlichen Logarithmensystems bedeutet. Für die Zeit t ergibt sich mithin aus Gleichung 1):

2) $$t = \frac{L}{R} \log nat \frac{E}{E - iR}.$$

Nehmen wir nun in unserem obigen Beispiel $R = 1$ Ohm an, was ungefähr gleichbedeutend damit ist, daß sich im primären Stromkreise außer der Primärspule des Induktors kein weiterer Widerstand befindet, so ergibt sich für $E = 10$ Volt der *log nat* in Gleichung 2) zu 0,916, für $E = 110$ Volt, dagegen zu 0,0561; und es wird mithin bei gleichen Werten von L und R die Zeit, innerhalb welcher der primäre Strom eine Stärke von 6 Ampère erreicht, für 110 Volt etwa 16mal so kurz wie für 10 Volt. Dies heißt dann aber offenbar nichts anderes, als daß man bei Anwendung der höheren Spannung die Zahl der Unterbrechungen des primären Stromes — unbeschadet der Leistung jeder einzelnen Unterbrechung — annähernd auf das 16fache erhöhen kann; und in dem gleichen Maße erhöht sich also auch die Leistungsfähigkeit des ganzen Apparates.

Diesem Vorzug der höheren Betriebsspannung steht nun aber andererseits auch wieder ein recht wesentlicher Nachteil gegenüber, insofern nämlich mit der Erhöhung jener Größe — infolge des dadurch bedingten schnelleren Anstiegs des primären Stromes unmittelbar nach seiner Schließung — auch wieder der in diesem Augenblick auftretende maximale Wert der sekundären Schließungsspannung des Induktors steigt, den wir ja im Röntgenbetriebe möglichst niedrig halten sollen. Von diesem Gesichtspunkte ergibt sich daher als Grundregel des Betriebes einer Röntgenröhre mit Induktionsapparat der Satz, daß die Betriebsspannung dabei

so niedrig zu halten ist, wie es mit Rücksicht auf die Leistungsfähigkeit des Apparates nur irgend möglich ist.

Für den Besitzer einer Akkumulatorenbatterie empfiehlt es sich daher von diesem Gesichtspunkte aus, die Spannung derselben mit Hilfe eines sog. Zellenschalters oder Pachytropes je nach der Größe der gewünschten Leistung abzuändern, womit man dann auch zugleich den Vorteil erreicht, daß man mit einem sehr viel kleineren Regulierwiderstande auskommt, als wenn man immer mit der höchsten Spannung der Batterie arbeitet. Verkleinerung der Schließungs-spannung

Für solche Betriebe dagegen, welche auf die Spannung eines bestimmten Elektrizitätswerkes, also z. B. auf 110, 220 oder gar 440 Volt, angewiesen sind, läßt sich die Herabsetzung der Betriebsspannung nach einem vom Verfasser zuerst angegebenen Verfahren dadurch erreichen, daß man, wie in Fig. 46 dargestellt ist, einen Nebenschluß

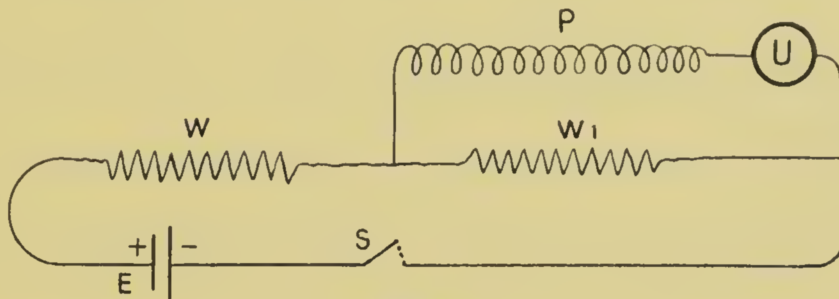


Fig. 46.

gewöhnlichen Starkstromwiderstand W_1 parallel zur Primärspule P des Induktors und dem Unterbrecher U schaltet. W_1 bildet dann, wie man es in der Elektrotechnik ausdrückt, einen „Nebenschluß" zu P und U. Die Buchstaben W, E und S ferner haben dieselbe Bedeutung wie früher.

Denkt man sich nämlich in der Fig. 46 den Hauptschalter S geschlossen, und den Unterbrecher U zunächst geöffnet, so befinden sich in dem Stromkreis E, W, W_1, S die beiden Widerstände W und W_1 hintereinandergeschaltet, und an den Enden von W_1 herrscht demnach nur der Teil: $\frac{W_1}{W + W_1}$ von der ganzen Betriebsspannung E, und dieser Teil ist es mithin auch nur, welcher bei der Schließung des Stromes im Unterbrecher U für den Anstieg des magnetischen Feldes in der Spule P in Frage kommt. Will man also die wirksame Spannung z. B. auf die Hälfte herabsetzen, so muß man $W_1 = W$ machen; denn dann ist $\frac{W_1}{W + W_1} = \frac{1}{2}$. Wollte man ferner unter allen Umständen nur mit der halben Betriebsspannung des Werkes arbeiten, so müßte man also W_1 stets genau gleich W machen, was natürlich zwei genau gleich abgeteilte Widerstände

W und W_1 und ferner auch entsprechende Doppelschalter erfordern würde, durch welche stets von beiden der gleiche Teil ab- oder zugeschaltet wird. Technisch ließe sich dies allerdings ziemlich leicht ausführen, immerhin begnügt man sich in der Praxis gewöhnlich damit, den Regulierwiderstand W_1 in zwei bis drei Stufen einzuteilen und dann bei schwachen Belastungen der Röhre, d. h. also größerem Werte von W den ganzen Wert von W_1 einzuschalten, für stärkere Röhrenbelastungen dagegen die kleineren Werte von W_1 zu benutzen.

Die dauernde Einschaltung des Nebenschlußwiderstandes W_1 bedingt natürlich eine nicht unwesentliche Vermehrung der Stromstärke; indessen spielt die Ausgabe hierfür im Röntgenbetriebe gegenüber derjenigen für die Röhren so gut wie gar keine Rolle, so daß daher die hier in Rede stehende, im Interesse der Verlängerung der Lebensdauer der Röhren liegende Benutzung des Nebenschlußwiderstandes W_1 nicht gering anzuschlagen ist, zumal wenn man mit Spannungen von 220 Volt und darüber zu arbeiten gezwungen ist.

Daß bei der Schaltung der Fig. 46 der Unterbrecher U mit der Primärspule P zusammengeschaltet werden muß und sich dabei nicht etwa im Hauptstromkreise z. B. zwischen E und W befinden darf, ist deswegen erforderlich, weil sonst der Widerstand W_1 unmittelbar an den Enden der Primärspule P liegen und sich dann die ganze, bei der Unterbrechung des primären Stromes frei werdende Energie des magnetischen Feldes des Induktors in dem primären Stromkeise P—W_1 und nicht in der sekundären Spule des Instrumentes ausgleichen würde.

Veränderliche Selbstinduktion

Die Verkleinerung der sekundären Schließungsspannung eines Induktors, auf welche ja die soeben besprochene Benutzung des Nebenschlußwiderstandes W_1 der Fig. 46 in letzter Linie abzielte, läßt sich nun aber auch noch auf andere Weise erreichen. Bedenken wir nämlich, daß der Anstieg des magnetischen Feldes eines Induktors nach der Fig. 44, I gerade im Augenblick der Schließung des primären Stromes am größten ist, so ergiebt sich daraus zunächst, daß auch die in diesem Augenblick in der sekundären Spule des Instrumentes auftretende Spannung zugleich den Maximalwert der Schließungsspannung darstellt. Dieser Maximalwert ist nun aber, wie eine genaue Theorie dieser Vorgänge lehrt, einesteils proportional der an den Enden der Primärspule wirksamen Betriebsspannung und anderenteils auch proportional dem sog. Übersetzungsverhältnis des Induktors, d. h. dem Verhältnis der Zahl der Windungen der sekundären Rolle zu der der primären. Jene Spannung steigt also mit der Zahl der sekundären

und fällt andererseits mit derjenigen der primären Windungen des Instrumentes. Beides ist ja leicht verständlich; denn was zunächst die sekundären Windungen angeht, so erstreckt sich ja der Induktionsvorgang auf jede einzelne dieser Windungen nahezu gleichartig, und da nun ferner alle diese Windungen gewissermaßen wie die einzelnen Elemente einer galvanischen Batterie hintereinandergeschaltet sind, so muß demnach auch die in dieser Spule erzeugte Induktionsspannung um so höher werden, je größer die Windungszahl derselben ist, und zwar gilt dies sowohl für die sekundäre Öffnungs- wie auch für die entsprechende Schließungsspannung des Induktors.

Hinsichtlich der *primären* Windungszahl dagegen liegen die Verhältnisse in dieser Beziehung ganz anders; denn einesteils sind hier die Vorgänge bei der Öffnung und Schließung des primären Stromes durchaus nicht mehr gleichwertig, insofern nämlich die Höhe der sekundären *Öffnungsspannnung* von der primären Windungszahl *direkt* überhaupt nicht abhängig ist — denn die primäre Spule ist ja in diesem Augenblick unterbrochen —[1]), während andererseits die Höhe der sekundären *Schließungsspannung* in unmittelbarer Abhängigkeit von der Windungszahl der primären Spule steht; denn sie ist, wie schon oben angegeben wurde, ihr umgekehrt proportional. Dies letztere leuchtet auch ohne weiteres ein; denn mit der Größe dieser Windungszahl steigt, wie bereits früher erwähnt wurde, die Größe der Selbstinduktion dieser Spule, die ihrerseits wieder den Anstieg des magnetischen Feldes des Apparates in entsprechendem Maße langsamer macht und damit also auch die Höhe der damit proportional gehenden sekundären Schließungsspannung entsprechend verkleinert.

Wenn es daher jetzt darauf ankommt, die Höhe dieser sekundären Schließungsspannung durch willkürliche Veränderung der primären oder sekundären Windungszahl des Induktors zu verkleinern, so kann dies zwar nach dem Obigen einesteils dadurch geschehen, daß man die Zahl der *sekundären* Windungen *verkleinert* und anderenteils auch dadurch, daß man diejenige der *primären* Windungen *erhöht*; die erstere dieser beiden Möglichkeiten erscheint aber hierbei — abgesehen davon, daß sie auch aus rein äußerlichen Gründen unpraktisch ist — schon deswegen wenig angebracht, weil mit der Verkleinerung der sekundären Windungszahl, wie auf S. 150 f. f. dargelegt wurde, eine ganz erhebliche Herabsetzung der Fließzeit des sekundären Stromes verbunden ist, was dann seinerseits

[1]) Indirekt allerdings wirkt die Größe der primären Windungszahl auf den Unterbrechungsvorgang insofern ein, als sie die Größe des Öffnungsfunkens im Unterbrecher beeinflußt.

wieder zu verschiedenen, dort näher dargelegten Unzuträglichkeiten führt. Bei der Veränderung der primären Windungszahl dagegen bestehen diese letzteren nicht; und da sich nun außerdem diese Veränderung auch technisch viel leichter und zugleich auch viel mannigfacher durchführen läßt, so sind denn auch derartige „Primärspulen mit veränderlicher Windungszahl“ oder „mit veränderlicher Selbstinduktion“, wie sie vom Verfasser zu diesem sowie auch einem anderen Zwecke zuerst eingeführt wurden, gegenwärtig fast allgemein in Gebrauch. Dieselben sind namentlich beim Wehneltunterbrecher — aus Gründen, die wir später kennen lernen werden — fast unter allen Umständen notwendig, bei den andern Unterbrechern dagegen hauptsächlich dann, wenn man mit einer verhältnismäßig hohen Betriebsspannung zu arbeiten gezwungen ist; denn dann wird eben auch hier eine Verkleinerung der sekundären Schließungsspannung dringend erforderlich.

Was nun aber die praktische Ausführung derartiger Primärspulen mit veränderlicher Selbstinduktion angeht, so ist in Fig. 47



Fig. 47.

eine der vielen möglichen Ausführungsformen einer solchen schematisch dargestellt; und zwar sind in diesem Falle auf dem durch das mittlere Rechteck der Figur angedeuteten Eisenkern vier gleiche, übereinanderliegende Lagen von Drahtwindungen aufgewickelt gedacht, deren unterste beiderseits in den Drähten 1 und 2, deren zweitunterste in 3 und 4 usw. endigt. Am fertigen Induktor sind dann von den acht Drahtenden dieser Spule die vier auf derselben Seite liegenden zu je vier Klemmen geführt, welche auf den beiden Hartgummideckeln angebracht sind, die die Hartgummihülse der Spule beiderseits verschließen; und bei der Aufstellung des Induktors werden dann diese Klemmen mit den acht Drahtenden eines Kabels verbunden, das vom Induktor zum „Reguliertische“ hinführt, dessen obere Seite in Fig. 48 abgebildet ist, und an welchen die acht andern Enden der genannten Kabeldrähte an entsprechend bezeichnete Klemmen angeschlossen werden. Von diesen letztern führen dann unter der Platte des Tisches acht weitere Drähte zu zwei Paaren von je vier Metallfedern, welche zu beiden Seiten der vorne auf der Mitte des Tisches sichtbaren Pachytropwalze angebracht sind, durch deren einfache Umdrehung

man dann bewirken kann, daß der Primärstrom z. B. entweder nur die eine der Drahtlagen der Fig. 47 durchströmt oder auch durch zwei derselben hintereinander fließen muß usw.

In der Praxis hat man natürlich eine um so höhere Windungszahl der Primärspule zu nehmen, je weicher die zu betreibende Röntgenröhre ist; denn das Vakuum einer weichen Röntgenröhre wird ja von einer bestimmten elektrischen Spannung viel leichter durchschlagen als das einer harten, so daß also auch in ersterem Falle die Herabsetzung der sekundären Schließungsspannung viel notwendiger ist.

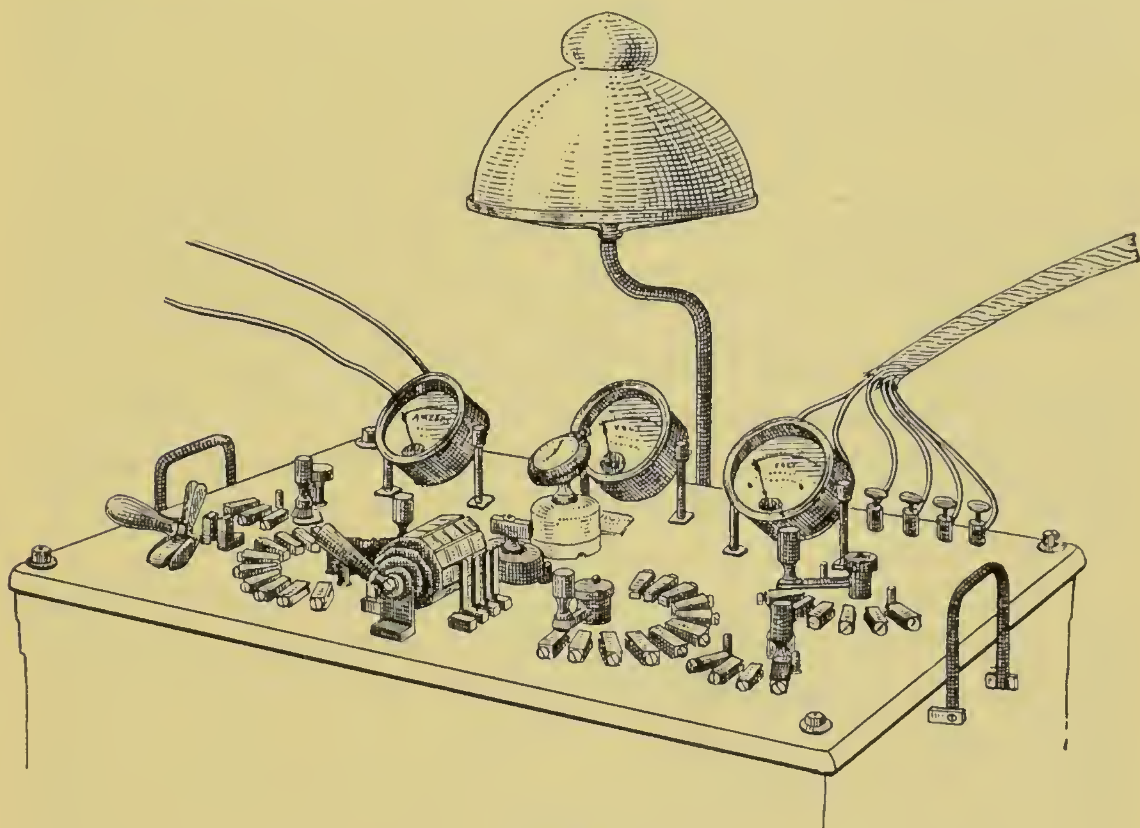


Fig. 48.

Zu der Fig. 48 mag bei dieser Gelegenheit noch bemerkt werden, daß auf diesem, zur Regulierung des durch den Induktor fließenden Stromes dienenden „Reguliertische“ zu beiden Seiten der soeben beschriebenen Pachytropwalze die Kontakte des Regulierwiderstandes *W* der Fig. 46 liegen und zwar auf der einen Seite diejenigen für die Grob- und auf der andern die für die Feinregulierung, wie auf S. 133 näher beschrieben ist. Ganz links sieht man ferner auf der Tischplatte der Fig. 48 vorne den Hauptschalter (*S* der Fig. 46), dahinter die Kontakte des Nebenschlußwiderstandes (W_1 daselbst). Ganz rechts vorne befinden sich weiter die Kontakte für einen veränderlichen Widerstand, mit Hilfe dessen sich die Helligkeit der über dem Tische unter der grünen Glasglocke befindlichen Beleuchtungslampe beliebig abdämpfen läßt, was be- Reguliertisch

sonders bei Untersuchungen mit dem Leuchtschirm sowie auch bei der Überwachung der Härte der Röhre mit Hilfe einer Härteskala von Wichtigkeit ist.

Diese Lampe läßt sich übrigens zugleich auch im Sinne der, zu Anfang des fünften Kapitels (S. 127) gegebenen Darlegungen als Kontrolle für die gute Beschaffenheit der zum Betriebe benutzten Elektrizitätsquelle benutzen. Denn, wenn die Lampe — nach Ausschaltung ihres gesamten Vorschaltewiderstandes — mit normaler Helligkeit brennt, so kann man sicher sein, daß die Stromquelle in Ordnung ist; und ein etwaiges Versagen des Stromes in der eigentlichen Betriebsleitung kann dann also nur durch einen Fehler in dieser Leitung selbst hervorgerufen sein, der dann nach den a. a. O. dargelegten Grundsätzen aufzusuchen ist.

Hinter den Dunkelschalterkontakten des Reguliertisches der Fig. 48 sieht man dann noch auf der Platte desselben eine weitere Reihe von Kontakten, von denen jeder zu einem besonderen Unterbrecher hinführt, wovon später die Rede sein wird. Unmittelbar hinter der Pachytropwalze liegt ferner noch ein sog. Polwender, der dazu dient, die Richtung des durch die Primärspule des Induktors gehenden Stromes umzukehren, wodurch dann natürlich — bei unveränderter Schaltung aller Apparate — auch die Richtung des durch die Röntgenröhre gehenden Stromes umgekehrt wird, was ja unter Umständen wünschenswert sein kann.

Hinter dem Polwender befindet sich ferner eine Sicherungsdose. Die darin enthaltene Sicherung ist aber nur für den durch die Tischlampe gehenden Strom bestimmt, denn diejenige für den Hauptstrom wird nicht auf dem Tische, sondern gleich bei den Zuführungsstellen der Spannung in das Haus angebracht. Oben auf jener Lampensicherungsdose des Tisches ferner sieht man weiter noch den Behälter für die Expositionsuhr, so daß diese letztere also stets sehr gut beleuchtet ist. Endlich befinden sich auf dem Tische noch drei Meßinstrumente, von denen zunächst das mittlere ein Voltmeter darstellt und die Spannung angibt, welche an den Enden des Widerstandes W_1 der Fig. 46 herrscht, eine Spannung, die ja in diesem Falle auch für die Primärrolle P die in Frage kommende Betriebsspannung darstellt. Der richtige Wert derselben wird allerdings nicht etwa durch den während der Tätigkeit des Unterbrechers U angegebenen Ausschlag dieses Instrumentes dargestellt, sondern vielmehr durch denjenigen Wert desselben, welchen man erhält, wenn man den Hauptausschalter S der Fig. 46 schließt und gleichzeitig den Stromkreis P, U irgendwo unterbricht. Am besten wird man daher diesen Wert der jeweilig in Frage kommenden Betriebsspannung erst am Schlusse der fraglichen Betätigung

der Röntgenröhre bestimmen, während derselben aber das Voltmeter ganz abschalten.

Die beiden anderen Meßinstrumente des Reguliertisches ferner stellen zwei Ampèremeter dar, von denen das eine in den Zweig *P, U* der Fig. 46 eingeschaltet ist und also nur den durch die Primärspule *P* des Induktors gehenden Teilstrom angibt, während das andere unmittelbar in der Hauptleitung des Stromkreises der Fig. 46, also z. B. zwischen *E* und *W*, liegt und daher die gesamte, aufgewandte Stromstärke kennen lehrt. Die Differenz der beiden Instrumente gibt mithin den durch den Nebenschluß W_1 gegangenen Strom an; und wenn man demnach diesen Nebenschluß ganz abschaltet, so müssen natürlich die Ampèremeter beide die gleiche Stromstärke anzeigen, so daß also diese Schaltung zugleich zur Kontrolle der Ampèremeter benutzt werden kann.

Schließlich sei noch erwähnt, daß für solche Fälle, wo der Nebenschluß W_1 nicht nötig ist, und der Stromkreis dann also einfach die Gestalt der Fig. 43 hat, natürlich auch das Voltmeter sowie das eine Ampèremeter überflüssig wird.

Zum Schlusse dieser allgemeinen Darlegungen über den Betrieb des Induktionsapparates muß nun aber noch eines Hilfsapparates gedacht werden, dessen man bei den meisten Unterbrechern bedarf, um den sich bei der Öffnung des primären Stromes in diesem letzteren Instrument bildenden primären Öffnungsfunken, der nämlich unter Umständen sehr stark werden und dann den Abfall der magnetischen Feldstärke bei der Unterbrechung erheblich verzögern kann, in genügender Weise zu verkleinern. Es ist dies ein sog. Kondensator, d. h. ein Apparat, der im Prinzip einfach aus zwei, einander nahe gegenüberstehenden Metallflächen besteht, die sich nirgends berühren dürfen, sondern vielmehr je nach der Höhe der Spannung der in Frage kommenden Elektrizität mehr oder minder gut voneinander isoliert werden müssen. In unserem Falle, wo nach dem Obigen Spannungen bis zu einigen tausend Volt im Spiele stehen, genügen zur Isolation der einzelnen Metallblätter des Kondensators voneinander je nach der Größe des in Frage kommenden Induktors eine oder zwei Lagen gut paraffinierten Schreibpapieres, während man als Metallflächen oder „Beläge" des Kondensators dünne Stanniolblätter verwendet. In Fig. 49 ist der Aufbau eines solchen Kondensators und die Verbindung desselben mit dem Unterbrecher *U* des Stromkreises der Fig. 43 oder 46 schematisch angegeben; und zwar bedeuten darin die ausgezogenen geraden Linien die Zinnblätter und die gestrichelten die Papierbögen. Man sieht nun, daß von den ersteren das erste, dritte, fünfte usw. sämtlich nach links, das zweite, vierte, sechste usw. dagegen sämtlich

Kondensator

nach rechts hin zusammengeführt sind und daß jede dieser beiden Blattgruppen, die dann eben je einen der beiden Beläge des Kondensators bilden, schließlich vermittelst eines Kupferdrahtes mit je einer der beiden Seiten der Unterbrechungsstelle *U* des primären Stromkreises verbunden ist. Auch diese Verbindungsdrähte sind natürlich voneinander auf eine Spannung von mehreren Tausend Volt zu isolieren.

Was aber sodann die Wirkungsweise des Kondensators in unserem Falle angeht, so läßt sich dieselbe dahin kennzeichnen, daß die, im Augenblicke der Unterbrechung des primären Stromes an den beiden Seiten der Unterbrechungsstelle in *U* auftretende hohe Spannung,

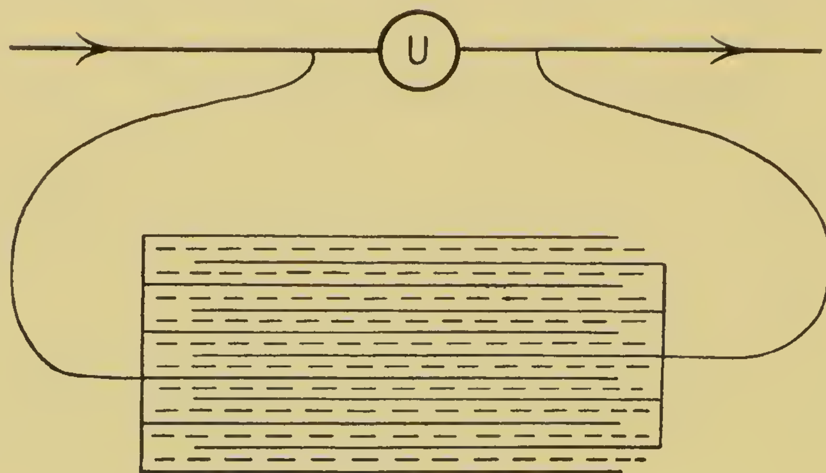


Fig. 49.

die ohne Vorhandensein jenes Instrumentes voll und ganz zur Ausbildung des Unterbrechungsfunkens beitragen würde, in diesem Falle gewissermaßen davon abgelenkt wird, indem nämlich die beiden sich an den Enden jener Stelle ansammelnden elektrischen Ladungen wegen ihres entgegengesetzten Vorzeichens die bekannte elektrostatische Anziehung aufeinander ausüben und vermöge dieser Eigenschaft in die beiden, sich so nahe einander gegenüberstehenden Beläge des Kondensators hineingezogen werden. Und zwar wird sich in diesem letzteren eine um so größere Elektrizitätsmenge ansammeln können, je größer seine elektrische „Kapazität" ist, eine Fähigkeit, die einesteils mit der Ausdehnung der sich einander gegenüberstehenden Flächenteile der beiden Beläge und andernteils umgekehrt proportional mit dem Abstand dieser Flächen wächst.

Andererseits darf nun aber doch in unserem Falle die Kapazität des Kondensators auch wieder nicht zu groß genommen werden, wie schon deswegen einleuchtet, weil ein unendlich großer Kondensator gleichbedeutend mit einer direkten metallischen Verbindung ist — in diesem Falle fließt nämlich unaufhörlich Elektrizität in den Kondensator hinein — und daher in diesem Falle der Primärstrom bei der Unterbrechung in *U* überhaupt nicht auf-

hören, sondern ruhig in derselben Stärke — eben als Ladestrom des Kondensators — weiter fließen würde, so daß dann also auch kein Abfall des magnetischen Feldes des Induktors und mithin auch überhaupt keine Induktionswirkung zustande käme. Tatsächlich zeigt sich denn auch, daß z. B. die maximale Funkenlänge, welche ein Induktor für eine bestimmte primäre Öffnungsstromstärke gibt, für eine ganz bestimmte Größe des Kondensators ihren größten Wert erreicht, d. h. also sowohl bei der Verkleinerung wie bei der Vergrößerung der Kapazität dieses Instrumentes abnimmt. Mit der Vergrößerung jener Öffnungsstromstärke steigt allerdings auch die zugehörige günstigste Kondensatorgröße, eine Tatsache, die sich ihrerseits wieder einfach daraus erklärt, daß in diesem Falle eben der primäre Öffnungsfunke ebenfalls größer wird und daher eben auch zu seiner Unterdrückung ein größerer Kondensator notwendig wird. In ähnlicher Weise steigt ferner die günstigste Kondensatorgröße auch mit der Größe der Selbstinduktion, d. h. der Windungszahl der primären Spule, so daß man also bei einem Unterbrecher, für welchen ein solcher Kondensator überhaupt nötig ist, den letzteren, genau genommen, auch mit veränderlicher Kapazität einrichten lassen sollte. Der Erfolg, den man damit erreicht, besteht jedoch in der Hauptsache nur darin, daß man damit die gleiche Wirkung im Induktor mit etwas geringerer primärer Stromstärke erreicht, d. h. also etwas sparsamer arbeitet. Da indessen die Ausgaben für elektrischen Stromverbrauch im Röntgenbetriebe nur eine verhältnismäßig geringe Rolle spielen, so dürfte sich die Benutzung einer solchen veränderlichen Kapazität schon deswegen nicht empfehlen, weil dadurch der Betrieb komplizierter wird.

Schließlich aber mag hier noch besonders hervorgehoben werden, daß durch einen solchen Kondensator mit veränderlicher Kapazität nicht etwa eine Verringerung der sekundären Schließungsspannung des Induktors und also eine Ersparnis an Röhrenverbrauch zu erreichen ist; denn auf den Vorgang der Schließung hat der Kondensator überhaupt keinen Einfluß, da er ja in diesem Augenblick kurz geschlossen wird, d. h. seine Beläge im Unterbrecher U miteinander metallisch verbunden werden. Es kann also dann auch weder eine Ansammlung von Elektrizität in ihm noch auch ein Einfluß etwaiger in ihm angesammelter Elektrizität auf die Vorgänge in der Primärspule stattfinden.

Platinunterbrecher

Gehen wir sodann noch auf die einzelnen Unterbrecher selbst etwas näher ein, so sind zunächst als älteste Form derselben die sog. Platinunterbrecher zu erwähnen, bei denen das Schließen und die Unterbrechung des primären Stromes des Induktors einfach dadurch bewirkt wird, daß zwei Stücke Platin, die in den Strom-

kreis in passender Weise eingeschaltet sind, bzw. gegeneinander gedrückt und wieder auseinandergerissen werden. Daß man in diesem Falle die Umgebung der Unterbrechungsstelle des primären Stromes aus Platin macht, hat seinen Grund einesteils in dem hohen Schmelzpunkt und anderenteils auch vor allem in der geringen Oxydierbarkeit dieses Metalles; denn hierdurch wird es eben bedingt, daß der Unterbrechungsfunke an jener Stelle schon an und für sich nur verhältnismäßig schwach zur Ausbildung gelangt, wie man sich am besten überzeugt, wenn man die Stärke dieses Funkens mit demjenigen vergleicht, welcher sich unter denselben Umständen an dem Hauptausschalter *S* des Stromkreises ausbildet, dessen Metallteile nämlich in der Regel aus Messing gearbeitet sind.

Zur weiteren Verminderung des primären Öffnungsfunkens erweist sich aber doch auch bei den Platinunterbrechern noch ein Kondensator als nützlich; mit einem solchen ist dann aber die Unterbrechung des Stromes auch eine recht vollkommene; und da nun ferner ein solcher, im wesentlichen ja nur aus zwei kleinen Platinstücken bestehender Unterbrecher naturgemäß nur wenig Raum einnimmt und außerdem auch — ähnlich wie der Klöppel einer elektrischen Klingel — direkt durch den Magnetismus des Eisenkerns des Induktors automatisch in Gang gesetzt werden kann und daher auch verhältnismäßig billig herzustellen ist, so ist diese Art von Unterbrechern auch gegenwärtig noch — zumal bei Induktoren für Schulen, sowie auch bei solchen für transportable Röntgenapparate — vielfach im Gebrauch.

Der Nachteil dieser Platinunterbrecher besteht jedoch darin, daß bei ihnen zwar nicht die Unterbrechungen, wohl aber die Schließungen des Stromes meist nur in ziemlich mangelhafter Weise stattfinden, insofern nämlich das Gegeneinanderschlagen zweier Metallstücke, zumal da die Oberflächen derselben durch den Unterbrechungsfunken stets mehr oder weniger angefressen sind, naturgemäß nur eine sehr unvollkommene Brücke für den primären Strom darstellt. Dieser letztere kann daher auch hierbei immer nur verhältnismäßig keine Werte annehmen, und eine größere Leistungsfähigkeit eines solchen mit Platinunterbrecher arbeitenden Induktors ist daher schon aus diesem Grunde kaum denkbar.

Quecksilberunterbrecher

Die vollkommenste Art der Stromschließung liefert im Gegensatz dazu das Quecksilber; und dies ist nun auch in erster Linie der Grund dafür, warum gerade dieses Metall so vielfach bei den Unterbrechern für Induktionsapparate benutzt wird. Denn für die eigentliche Unterbrechung eignet es sich im Grunde genommen am allerwenigsten, da es ja von allen Metallen am leichtesten verdampft und also auch zu einer sehr starken Ausbildung des Unterbrechungs-

funkens Veranlassung gibt. Die Verkleinerung dieses letzteren erfordert daher auch in diesem Falle noch wieder ganz besondere Vorkehrungen, von denen in erster Linie die zu nennen ist, daß man die Unterbrechung hierbei entweder in einer isolierenden und chemisch möglichst indifferenten Flüssigkeit, wie Alkohol oder Petroleum, oder auch in einem das Metall nicht oxydierenden Gase, wie Wasserstoff oder Leuchtgas, vor sich gehen läßt. Zumal die letztere Art der Quecksilberunterbrecher, die nach einem Vorschlage von Béclère in Paris von Drault daselbst gebaut wird, soll sich durch eine ganz besonders große Wirksamkeit auszeichnen.

Außer den genannten Maßregeln zur Verringerung des primären Öffnungsfunkens ist nun aber bei den Quecksilberunterbrechern auch noch stets ein Kondensator erforderlich.

Von den verschiedenen Quecksilberunterbrechern seien hier sodann zunächst die älteren Formen, nämlich die Stiftunterbrecher, die Strahlunterbrecher und die Gleitkontaktunterbrecher erwähnt. Bei den ersteren wird ein vertikal stehender, amalgamierter Kupferdraht — ähnlich wie die Nadel einer Nähmaschine — fortwährend auf und ab bewegt und dabei abwechselnd in und außer Berührung mit dem Quecksilber eines darunterstehenden Gefäßes gebracht. Bei den Strahlunterbrechern saugt eine, um eine vertikale Achse rotierende, schneckenartige Vorrichtung aus einem darunterstehenden Quecksilbergefäße das Metall in die Höhe und spritzt es dann vermöge der Zentrifugalkraft durch eine kleine seitliche Öffnung als einen feinen, horizontalen Strahl wieder heraus, der dann bei seiner Rotation abwechselnd in und außer Berührung mit amalgamierten Vorsprüngen eines kronenartig ausgezackten Metallringes gelangt und so den elektrischen Strom abwechselnd schließt und unterbricht. Bei den Gleitkontaktunterbrechern endlich sind in den Umfang eines, um eine vertikale Achse rotierenden dicken Hartgummistabes mehrere Metallsegmente eingelassen, so daß eine, gegen den Stab schleifende Metallfeder abwechselnd mit Metall und mit Hartgummi in Berührung kommt, und also somit abwechselnd Schließen und Unterbrechen des Stromes stattfindet. Die Segmente sowohl wie die dagegen schleifende Feder bestehen hier zwar aus Messing; indessen wird dasselbe, um eine bessere Brücke für den Strom zu gewinnen, fortwährend mit Quecksilber geschmiert, indem in den rotierenden Stab kleine, schneckenartige Rinnen eingeschnitten sind, die das Metall zu der Berührungsstelle emporsaugen. Die letztere liegt natürlich auch hier — der Verkleinerung des Unterbrecherfunkens wegen — unter Petroleum oder dergl.

Von neueren Formen der Quecksilberunterbrecher seien noch der sog. Rotaxunterbrecher der Elektrizitätsgesellschaft „Sanitas“

in Berlin und der „Rekord“-Quecksilberunterbrecher von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen erwähnt, die speziell auch für sehr hohe Leistungen bestimmt sind. Fr. Klingelfuß & Co. in Basel liefern ebenfalls derartige „Starkstrom-Dauerunterbrecher“, die in ihrer Leistungsfähigkeit kaum hinter dem nunmehr noch zu beschreibenden Wehneltunterbrecher zurückstehen dürften.

Die Nachteile der Quecksilberunterbrecher bestehen nun darin, daß sie zunächst gewisser rotierender Teile sowie auch eines Motors bedürfen, der dieselben antreibt, daß ferner das Quecksilber durch das fortwährende Herumwirbeln emulsioniert, d. h. in lauter feine Tröpfchen zerrieben wird, die sich mit einer Fetthaut überziehen und dann nicht wieder zusammenfließen, und daß drittens das Metall durch den Unterbrechungsfunken oxydiert wird, wodurch sich in dem Unterbrecher allmählich ein grauer Schlamm ansammelt. Wenn nun zwar dieser letztere auch bei den neueren Unterbrecherformen zum Teil automatisch entfernt wird, so behält doch — schon der erstgenannten Nachteile wegen — der Wehneltunterbrecher einen großen Vorzug vor den Quecksilberunterbrechern, da er ohne jegliche rotierenden Teile arbeitet und dabei einfach, übersichtlich, reinlich und vor allen Dingen auch ganz außerordentlich leistungsfähig ist. Seine große Zuverlässigkeit läßt es außerdem zu, daß der Unterbrecher gänzlich außerhalb des Röntgenzimmers aufgestellt werden kann, so daß man dann in letzterem beim Betrieb der Röntgenröhre — außer dem etwaigen Knistern der letzteren — überhaupt kein Geräusch vernimmt, was für Arzt und Patienten eine große Annehmlichkeit bedeutet.

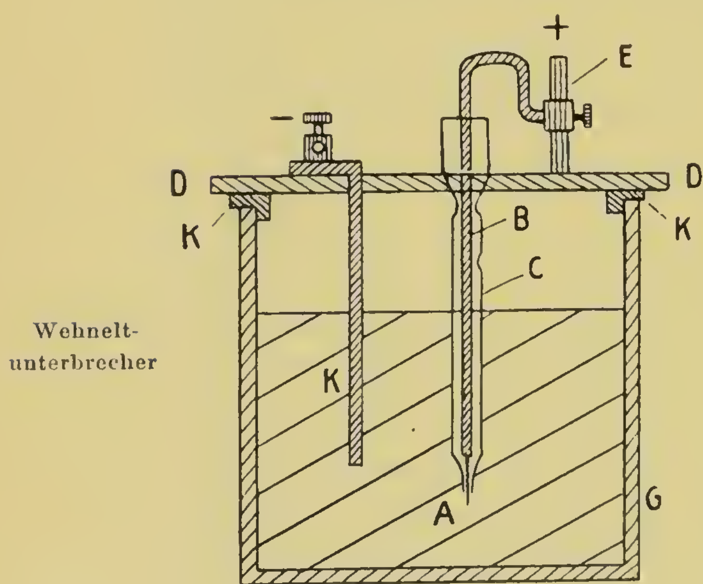


Fig. 50.

Wehnelt-unterbrecher

Der Wehneltunterbrecher nun, der i. J. 1899 von A. Wehnelt in Berlin erfunden wurde und in der Form, in welcher er sich dem Verfasser seit Jahren am besten bewährt hat, in Fig. 50 abgebildet ist, stellt nichts anderes dar als eine elektrolytische Zelle, d. h. er besteht aus einem Glasgefäß *G* von etwa 15 Liter Inhalt, das zu ungefähr $^3/_4$ mit verdünnter Schwefelsäure (10—20 Volumteile reiner Säure auf 100 Teile Wasser) gefüllt wird. Von den Elektroden der Zelle ferner besteht zunächst die Kathode *K* aus einer größeren Bleiplatte, die Anode *A* dagegen, die hier die eigentliche Unterbrechungsstelle des primären Stromes darstellt, aus einem

kurzen Stück Platindraht, der mit seinem oberen Ende in einen Bleistab B eingeschmolzen ist, der seinerseits allseitig durch ein isolierendes Glas- oder besser Porzellanrohr C gegen die Flüssigkeit isoliert ist. Die Bleistange ist oben umgebogen und führt zu einer, auf dem Hartgummideckel DD des Gefäßes aufgeschraubten Messingstange E, an der sie sich auf- und abschieben läßt, so daß man auf diese Weise die Länge des aus dem Rohre C hervorragenden Teiles des Platinstiftes A beliebig verändern kann. Auch läßt sich die Stange leicht ganz nach oben herausziehen, und dann weiter auch das Isolierrohr C herausheben, so daß mithin diese beiden Hauptteile des Unterbrechers leicht ausgewechselt werden können.

Da sich ferner beim Arbeiten des Unterbrechers in der Flüssigkeit Wasserstoff und Sauerstoff entwickeln, die, miteinander gemischt, durch eventuelle Funkenbildung explodieren würden, so darf der Deckel DD das Gefäß G nicht vollständig abschließen, sondern es müssen in den vier Ecken kleine Hartgummiklötzchen KK untergesetzt werden, so daß ringsherum eine Abzugsrinne für die Gase freibleibt. Um dabei jedoch die auf dem Deckel angebrachten Messingteile vor umherspritzender Säure zu schützen, läßt man einesteils den Deckel DD etwas über den Rand des Glasgefäßes G überspringen und setzt andererseits auch jene Messingteile selbst soweit als möglich sowohl vom Rande von DD als auch von den in DD angebrachten Löchern für den Durchtritt der Elektroden K und B entfernt, während zugleich diese Löcher selbst natürlich so klein wie möglich gemacht werden.

Der Unterbrecher ist ferner stets so in den Stromkreis der Fig. 43 oder 46 einzuschalten, daß der Platindraht A Anode wird, d. h. daß die mit ihm in Verbindung stehende Klemmschraube, die in Fig. 50 hinter der Messingstange E zu denken ist, mit dem vom positiven Pole der Elektrizitätsquelle kommenden Draht verbunden wird.

Was nun aber weiter die Vorgänge im Wehneltunterbrecher angeht, so kommen, wie zuerst von A. Voller und dem Verfasser nachgewiesen wurde, die Unterbrechungen des Stromes in dieser Zelle dadurch zustande, daß der Strom an dem Platindraht A auf einen sehr kleinen Querschnitt zusammengedrängt und deswegen in der, den Draht unmittelbar umgebenden Flüssigkeitsschnittsschicht eine ganz außerordentliche starke Stromwärme erzeugt wird, so daß daher die Flüssigkeit hier fast momentan ins Sieden gerät, und sich dann das Drahtende A mit einer Wasserdampfhülle umgibt. Wenn nun aber in dem Stromkreise keine Spule mit Selbstinduktion vorhanden oder diejenige der primären Spule des Induktors nicht

groß genug ist, so sinkt der Strom, nachdem er jene Dampfhülle erzeugt hat, allmählich und unter einem eigentümlichen, siedenden Geräusch bis auf einen bestimmten ziemlich kleinen Wert herab, einen Wert, der nämlich gerade genügt, um jene Dampfschicht dauernd um den Draht herum aufrecht zu erhalten, und der dann auch andauernd bestehen bleibt. Ein abwechselndes Unterbrechen und Schließen des Stromes, wie es ja für unsern Zweck erforderlich ist, findet also in diesem Falle nicht statt. Ist dagegen die Selbstinduktion der Primärspule des Induktors groß genug, so entwickelt sich infolge jenes schnellen Abfalls des primären Stromes, der durch die schnelle Ausbildung der Wasserdampfhülle um *A* herum bewirkt wird, an den Enden jener Spule die „primäre Öffnungsspannung", die, wie wir oben bei der allgemeinen Theorie des Unterbrechers gesehen haben, eine Größe von mehreren tausend Volt erreichen kann, und die deshalb auch die in Rede stehende Wasserdampfhülle mit Leichtigkeit durchschlägt, dann eine teilweise Zersetzung der letzteren in Wasserstoff und Sauerstoff und schließlich auch noch eine Explosion dieses Gasgemisches hervorruft, wodurch dann die gesamte, den Anodendraht *A* umgebende Gas- und Dampfhülle von demselben fortgeschleudert wird, so daß nunmehr die Flüssigkeit der Zelle *G* wieder an diesen Draht herantreten kann. Damit aber wird dann der Strom aufs neue geschlossen, und das Spiel wiederholt sich von vorne.

Es mag hier noch einmal betont werden, daß die Ursache der starken Erwärmung der Flüssigkeit in der Umgebung des Drahtes *A* nicht etwa in letzterem selbst sondern vielmehr in der, ihn unmittelbar umgebenden Flüssigkeitsschicht zu suchen ist. Dies leuchtet auch sofort ein, wenn man berücksichtigt, daß einesteils nach dem Jouleschen Gesetz (s. Kap. 5, S. 134) die von einem elektrischen Strom an irgend einer Stelle seiner Bahn erzeugte Stromwärme direkt proportional dem elektrischen Widerstande dieser Stelle ist, und daß anderenteils der elektrische Widerstand der hier benutzten Schwefelsäurelösung etwa 100000mal so groß ist wie der des Platins. Nicht das Metall also sondern der dasselbe unmittelbar umschließende Teil der Flüssigkeit bietet hier dem Strome einen gewaltigen Widerstand dar, und es ist demnach auch nicht das erstere sondern vielmehr die letztere, in welcher die hier in erster Linie wirksame, so außerordentlich große Joulesche Stromwärme erzeugt wird.

Walterschaltung Des weiteren ist noch bemerkenswert, daß der Wehneltunterbrecher — im Gegensatze zu den Platin- und Quecksilberunterbrechern — eines Kondensators überhaupt nicht bedarf, daß er aber dafür in bezug auf die Größe der Selbstinduktion der primären

Spule wieder erheblich empfindlicher ist als diese. Deshalb werden denn auch Induktoren, welche im Röntgenbetriebe in Verbindung mit dem Wehneltunterbrecher arbeiten sollen, fast ausnahmslos mit einer Primärspule mit veränderlicher Selbstinduktion versehen, während man sich für Quecksilberunterbrecher meist mit einer unveränderlichen Spule begnügt. Die Induktoren der ersteren Art lassen sich dann natürlich ohne weiteres auch für den Betrieb mit dem letztgenannten Unterbrecher benutzen, nicht aber umgekehrt diejenigen mit einer einzigen Stufe der Selbstinduktion für Wehneltbetrieb.

Die Notwendigkeit der Abstufung der Selbstinduktion im letzteren Falle ergibt sich nun auf Grund der Tatsache, daß man beim Wehnelt, um die für harte Röntgenröhren notwendige große Funkenlänge zu erreichen, einer verhältnismäßig kleinen Selbstinduktion, d. h. einer Primärrolle mit verhältnismäßig wenigen Windungen bedarf, während andererseits bei weichen Röntgenröhren diese Selbstinduktion wieder deswegen zu klein sein würde, weil dann einesteils der Unterbrecher selbst leichter versagt, und weil anderenteils in diesem Falle auch die Höhe der sekundären Schließungsspannung zu groß werden würde. Beide Unzuträglichkeiten vermeidet man nun eben hier in ganz ausgezeichneter Weise durch Erhöhung der Selbstinduktion, und daher hat denn auch die hierfür zuerst vom Verfasser empfohlene Benutzung der Primärspulen mit veränderlicher Selbstinduktion (s. S. 158) allgemeine Verbreitung gefunden.

Des weiteren hat es sich dann bei der Benutzung des Wehneltunterbrechers auch noch von Vorteil erwiesen, in der Zelle *G* der Fig. 50 statt eines einzigen Platinstiftes deren mehrere zu verwenden, wobei natürlich jeder in derselben Weise wie der in der Fig. 50 gezeichnete mit einer Bleistange *B* und einem Isolierrohr *C* versehen ist. Die einzelnen Stifte eines solchen „mehrfachen Wehnelt“ unterscheiden sich dann lediglich dadurch, daß bei jedem von ihnen die Größe der aus dem zugehörigen Rohre *C* in die Flüssigkeit hineinragenden „wirksamen Oberfläche“ der Stifte von vornherein verschieden groß gemacht wird. Mit der Größe dieser Oberfläche wächst nämlich die sog. „Anfangsstromstärke“ des Stiftes, d. h. derjenige kleinste Wert des primären Stromes, bei welchem die Stromunterbrechungen an dem Stifte eben anfangen. Diesen Wert erhält man übrigens in sehr einfacher Weise dadurch, daß man zunächst den Widerstand *W* in Fig. 43 oder 46 möglichst groß nimmt, dann den Hauptschalter *S* einschaltet und nun *W* allmählich soweit verkleinert, bis sich im Unterbrecher die ersten Unterbrechungen zeigen. Der hierbei durch die Primärspule des Induk-

tors gehende Strom stellt dann die gesuchte Anfangsstromstärke dar, die übrigens nichts anderes bedeutet als die „primäre Öffnungsstromstärke" $JC = KF$ der Fig. 44, I, von deren Größe ja, wie wir früher gesehen haben, die Wirkung des ganzen Unterbrechungsvorgangs abhängt. Dieselbe ist also in unserem Falle lediglich durch die Größe der wirksamen Oberfläche des jeweilig benutzten Platinstiftes bedingt; denn, je größer diese Fläche, desto größer muß der Strom werden, ehe er imstande ist, die den betreffenden Draht umgebende Flüssigkeit bis auf den Siedepunkt zu erhitzen.

Eine Erhöhung jener primären Öffnungsstromstärke wird daher in unserem Falle nicht etwa — wie bei einem mit bestimmter Unterbrechungszahl arbeitenden Quecksilberunterbrecher — durch eine weitere Ausschaltung von Widerstand bewirkt, sondern es findet dann vielmehr nur eine schnellere Aufeinanderfolge der Unterbrechungen statt; und zwar wächst die Zahl derselben bei weiterer Ausschaltung von Widerstand ganz außerordentlich schnell, so daß man also bei diesem Unterbrecher eines ziemlich fein abgestuften Regulierwiderstandes bedarf. Die Wirkung jeder einzelnen Unterbrechung dagegen bleibt bei jener Widerstandsausschaltung annähernd die gleiche, wie man am besten daran sieht, daß die einzelnen, hierbei in einer Funkenstrecke übergehenden Funken des Induktors nahezu dasselbe Aussehen beibehalten, solange wenigstens dieselben noch als einzelne Funken übergehen. Denn wenn die Aufeinanderfolge derselben durch noch weiteres Ausschalten primären Widerstandes schließlich so schnell gemacht wird, daß die Luft ihre durch den ersten Funken erworbene Leitfähigkeit bis zum nächsten hin nicht mehr verliert, so nimmt die Erscheinung ein ganz anderes Aussehen an, indem sich dann an Stelle einzelner Funken ein richtiger „Lichtbogen" ausbildet, in welchem nämlich die Luft einen so geringen elektrischen Widerstand besitzt, daß dann ein eigentlicher elektrischer Funke überhaupt nicht mehr zustande kommt.

Was nun aber die Verwendung der verschiedenen Stifte eines mehrfachen Wehnelt angeht — von denen übrigens bei dem Schalttische der Fig. 48 jeder an einen besonderen Kontakt der rechts hinten sichtbaren Reihe von Kontaktstücken angeschlossen ist, und die sich also vermittelst des zugehörigen Hebelschalters leicht gegeneinander auswechseln lassen —, so hat man im allgemeinen bei Benutzung einer kleineren Selbstinduktion der Primärspule mit einer größeren Stiftoberfläche zu arbeiten und umgekehrt bei höherer Selbstinduktion also mit kleinerem Stifte. Der Grund aber für diese Maßregel ist vor allem darin zu suchen, daß man, um in dem

Eisenkern des Induktors den gehörigen Magnetismus zu erzeugen, bei den kleineren Stufen der Selbstinduktion, d. h. also bei einer geringeren primären Windungszahl, naturgemäß mit größeren primären Öffnungsstromstärken, d. h. also nach dem soeben Gesagten mit größerer Stiftoberfläche arbeiten muß.

Würde man aber andererseits diesen großen Stift auch für die höheren Stufen der Selbstinduktion beibehalten, so würde wieder die Stärke jedes einzelnen Unterbrechungsstoßes zu groß werden, insofern man nämlich dann, um die Röhre nicht zu überlasten, die Zahl der Unterbrechungen pro Sekunde so klein machen müßte, daß das Licht der Röhre — und bei Schirmbeobachtungen auch das des Leuchtschirmes — anfangen würde zu flackern. Immerhin ist es aber auch nicht ratsam, die wirksame Oberfläche des Wehneltstiftes in diesem Falle wieder mehr als nötig zu verkleinern, d. h. also mit einer unnötig hohen Zahl von Unterbrechungen zu arbeiten; denn dadurch würde das Auftreten der Schließungsströme in der Röhre in unnötiger Weise erleichtert werden, wie bereits auf S. 151 f. f. des näheren ausgeführt worden ist.

Im allgemeinen soll man es sich daher sowohl beim Wehnelt als auch bei anderen Unterbrechern zum Grundsatz machen, die Zahl der Unterbrechungen nicht größer zu wählen als zur Vermeidung des Flackerns des Lichtes der Röhre eben nötig ist, so daß also 30—40 Unterbrechungen in der Sekunde die günstigste Zahl darstellen dürften.

Inbezug auf die Benutzung der einzelnen Stifte eines mehrfachen Wehnelt aber mag hier schließlich noch darauf hingewiesen werden, daß man beim Übergang von einem längeren zu einem kürzeren Stifte stets erst den Hauptwiderstand W des Stromkreises der Fig. 43 oder 46 erheblich vergrößern muß, da sonst durch die erstere Maßregel meist eine gewaltige Zunahme der Zahl der Unterbrechungen und infolge dessen auch meist eine erhebliche Zunahme der Belastung der Röhre bewirkt werden würde, die für die letztere unter Umständen verhängnisvoll werden könnte.

Zusammenfassend kann man also sagen, daß bei dem Wehneltunterbrecher durch Ausschalten primären Widerstandes lediglich die Zahl der Unterbrechungen, nicht aber die Stärke jeder einzelnen Unterbrechung vergrößert wird, daß ferner bei Verkleinerung der Selbstinduktion der Primärspule des Induktors die Länge der Funken desselben wächst, und daß man dann aber wieder, um die nötige Stromstärke in den einzelnen Funken zu erzielen, auch die Größe der wirksamen Oberfläche des Wehneltstiftes erhöhen muß.

Diese Verbindung der Primärspule mit veränderlicher Selbst-

induktion mit einem Wehneltunterbrecher mit mehreren Stiften rührt ebenfalls vom Verfasser her, und es wird deshalb auch diese ganze Schaltung gewöhnlich als Walterschaltung bezeichnet.

Es sei noch erwähnt, daß bei dem, ja meist nur minutenlangen Arbeiten mit längeren Zwischenpausen, wie es gewöhnlich in einem ärztlichen Röntgenlaboratorium vorkommt, eine besondere Kühlung des in der oben angegebenen Größe hergestellten Wehneltunterbrechers nicht nötig ist; denn wenn sich dabei auch allmählich eine ziemlich starke Erwärmung der Flüssigkeit herausstellt, so ist dieselbe doch bis zu einem gewissen Grade — ca. 60—70° C. hin — sogar eher nützlich als schädlich, da nämlich der elektrische Widerstand der verdünnten Schwefelsäure bei der Erwärmung abnimmt, und außerdem auch bei erwärmter Flüssigkeit eine kleinere Stromstärke notwendig ist, um die wirksame Flüssigkeitsschicht bis zum Sieden zu erhitzen, als in der kalten. Bei längerem Einschalten des Stromes, wie es z. B. bei therapeutischen Bestrahlungen notwendig ist, merkt man dies übrigens auch schon daran, daß selbst bei unveränderter Größe des in den primären Stromkreis eingeschalteten Widerstandes und auch bei unveränderter Härte der Röntgenröhre doch die Angabe des mit letzterer zusammengeschalteten Milliamperemeters allmählich steigt, so daß man daher, wenn man die durch die Röhre gehende Stromstärke konstant halten will, den primären Widerstand hierbei allmählich vergrößern muß. Verwendet man dagegen einen Wehneltunterbrecher, dessen Säure durch eine Kühlvorrichtung auf konstanter Temperatur gehalten wird, so findet dieses, durch Erwärmung der Säure bewirkte Ansteigen des Stromes in der Röhre natürlich nicht statt. In dem andern Falle darf übrigens jenes Ansteigen nicht mit demjenigen verwechselt werden, welches dann stattfindet, wenn die Röhre infolge zu großer Belastung allmählich immer weicher wird, ein Ansteigen, das übrigens meistens viel schneller einsetzt als das obige und darum natürlich auch viel verhängnisvoller ist.

Snook-Apparat

Bei der bisher beschriebenen Betriebsweise einer Röntgenröhre mit Hilfe eines Induktors und Unterbrechers bleibt nun, so einfach sich auch der Apparat zumal bei Anwendung des Wehneltunterbrechers gestaltet, doch immer der Nachteil übrig, daß in dem Falle, wo man sehr große Stromstärken in Verbindung mit sehr hohen Unterbrechungszahlen anzuwenden gezwungen ist, d. h. also bei der Herstellung kurz dauernder Aufnahmen, der Schließungsstrom des Induktors sich ohne Zuhilfenahme von Ventilröhren nicht mehr von der Röntgenröhre fernhalten läßt.

Es ist daher von Wichtigkeit, daß neuerdings auch — nach

dem Vorgange von H. C. Snook von der Roentgen Manufacturing Company in Philadelphia — von dieser und anderen Firmen ein Röntgenapparat gebaut wird, bei dem ein verkehrt gerichteter Strom selbst bei der stärksten Beanspruchung nicht in Frage kommt, und der daher zumal für kurz dauernde Aufnahmen vor dem Induktionsapparat entschieden den Vorzug verdient, wenn er ihm auch wieder an Einfachheit und Geräuschlosigkeit nicht unerheblich nachsteht.

Der neue Apparat ist schematisch in der Fig. 51 dargestellt. Bei demselben wird zunächst der Strom der vorhandenen Elektrizitätsquelle, gleichviel ob dieselbe Gleich-, Wechsel- oder Drehstrom liefert, einem entsprechenden Umformer zugeführt, um nämlich

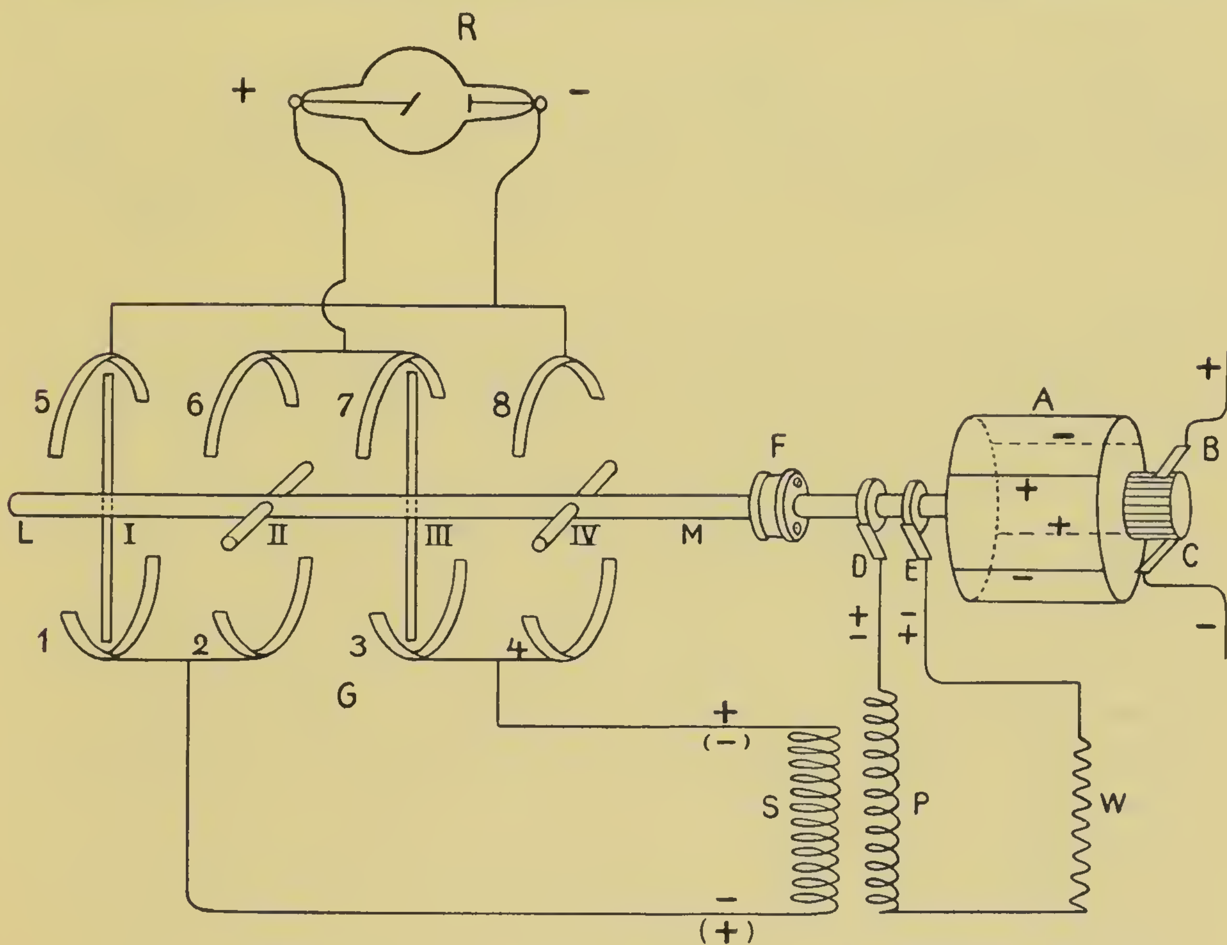


Fig. 51.

darin in allen Fällen in gewöhnlichen Wechselstrom umgeformt zu werden. Ein solcher Umformer nimmt besonders bei Vorhandensein von Gleichstrom eine einfache Gestalt an, indem der letztere in diesem Falle einfach, wie in Fig. 51 dargestellt ist, in zwei Schleifkontakte *B* und *C* eines rotierenden Ankers *A* hineingeschickt wird, während der daraus entstehende Wechselstrom sich von zwei auf derselben Achse angebrachten Schleifkontakten *D* und *E* abnehmen läßt. Der letztere wird dann weiter über den Regulierwiderstand *W* in die Primärspule *P* eines Funkentransformators,

d. h. eines Transformators nach Art der Fig. 42 (S. 143) geführt, in dessen Sekundärspule S dann durch Induktion hochgespannter Wechselstrom von derselben Periode entsteht.

Eigenschaften des Wechselstromes

Ehe wir nun aber mit der Beschreibung der Wirkungsweise des Snook-Apparates fortfahren, müssen wir uns zunächst noch kurz mit den hauptsächlichsten Eigenschaften des Wechselstromes bekannt machen, der ja in jenem Apparate eine wesentliche Rolle spielt. Der Wechselstrom hat nun seinen Namen daher, weil er seine Richtung fortwährend wechselt; und zwar geschieht dies stets in ganz bestimmten Zeitabschnitten, so daß daher die Kurve dieses Stromes die Form einer Wellenlinie hat, wie sie in einer besonders regelmäßigen Form in Fig. 52 dargestellt ist. Dabei bedeutet die

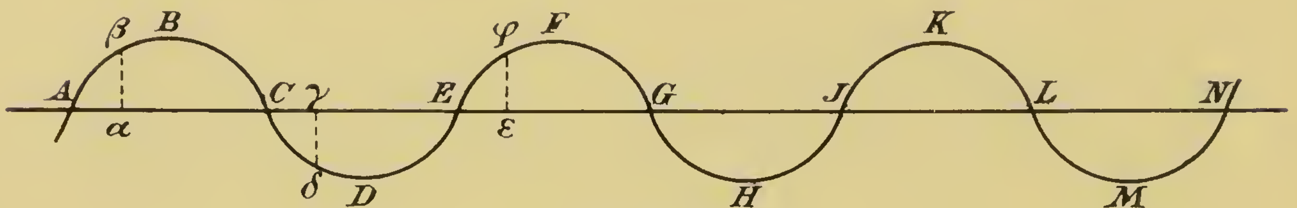


Fig. 52.

mittlere, horizontale Gerade $ACEG$ .... wie früher in Fig. 44 die „Zeitachse"; und auf dieser hat man also in gleichmäßigem Tempo fortzuschreiten, um für jeden Augenblick die Größe und Richtung des Stromes zu finden. Seine Größe wird nämlich durch die Länge der zu dem betreffenden Achsenpunkte zugehörige „Stromordinate", d. h. dem senkrechten Abstand der Wellenlinie von jenem Achsenpunkte dargestellt, so daß sie also z. B. im Momente α gleich $\alpha\beta$, in den Momenten A und C aber gleich Null ist usw. Die jeweilige Richtung des Stromes ferner wird als positiv bezeichnet, wenn die Ordinate wie bei α von der Achse aus nach oben zu gerichtet ist, und umgekehrt als negativ, wenn sie sich wie bei γ nach unten zu erstreckt.

Die Kurve der Fig. 52 zeigt dann ohne weiteres, daß der Strom für alle zwischen A und C liegenden Augenblicke positiv, für alle zwischen C und E fallenden dagegen negativ ist usw., so daß also die Punkte A, C, E, G, ... diejenigen Augenblicke darstellen, in welchen eine Richtungsänderung des Stromes in der Leitung stattfindet. Die Zeit zwischen zwei solchen Richtungs- oder „Polwechseln" des Stromes, wie man sie gewöhnlich nennt, wird demnach in der Fig. 52 durch die Strecken $AC = CE = EG = \ldots$ dargestellt. Die Figur zeigt aber auch unmittelbar, daß die eigentliche „Periode" des Stromes, d. h. die Zeit zwischen zwei völlig identischen Zuständen des Schwingungsvorgangs, doppelt so groß ist, wie die zwischen zwei Polwechseln; denn erst vom Punkte E

ab ist der Verlauf wieder genau derselbe wie von A aus, nicht aber schon von C ab. Es ist demnach z. B. bei einem Wechselstrom mit 50 Perioden in der Sekunde die Zahl der Polwechsel in derselben Zeit = 100.

Die Ursache der fortwährenden Richtungsänderungen eines solchen Stromes ist natürlich in der diesen Strom erzeugenden Dynamomaschine zu suchen; und zwar kommen sie dadurch zustande, daß die Drahtwindungen des Maschinenankers bei der Rotation des letzteren ein oder mehrere Paare von magnetischen Feldern zu durchsetzen haben, und daß dann die in jenen Windungen bei ihrem Eintritt in ein solches Feld erzeugte Induktionsspannung die entgegengesetzte Richtung von derjenigen hat, welche beim Austritt aus dem Felde entsteht — ähnlich wie ja auch in der sekundären Spule eines Induktionsapparates bei der Schließung und Öffnung des primären Stromes oder, genauer ausgedrückt, beim Entstehen und Verschwinden des magnetischen Feldes des Instrumentes zwei entgegengesetzt gerichtete Spannungen induziert werden.

Die Zahl der Polwechsel eines Wechselstromes in der Sekunde wächst demnach einerseits mit der Rotationsgeschwindigkeit des genannten Maschinenankers und andererseits auch mit der Zahl der magnetischen Pole, welche die Drahtwindungen des Ankers bei ihrer Rotation zu passieren haben. Bei den in den größeren Elektrizitätswerken Deutschlands hergestellten Wechselströmen z. B. wird die Zahl der Polwechsel meistens auf 100 in der Sekunde bemessen, so daß in diesem Falle also die Strecke $AC = CE = EG = \ldots$ in der Fig. 52 einen Zeitraum von $^1/_{100}$ Sekunde darstellt. Verfügt man jedoch — wie bei dem Snook-Apparat — über eine eigene Wechselstrommaschine, so kann man natürlich dadurch, daß man den Anker A derselben mit verschiedener Umdrehungsgeschwindigkeit laufen läßt, auch die Polwechselzahl des dadurch erzeugten Wechselstromes und daher auch die Zahl der in der Sekunde durch die Röntgenröhre gehenden Stromstöße verändern, die nämlich, wie wir später sehen werden, mit jener Polwechselzahl übereinstimmt. Bei Vorhandensein eines Gleichstrom-Wechselstromumformers wie z. B. im Falle der Fig. 51 erreicht man die Änderung der Rotationsgeschwindigkeit des Ankers A einfach dadurch, daß man die durch die Magnete des Umformers gehende Stromstärke und damit also auch die Feldstärke dieser Magnete selbst verändert, denn je größer diese Feldstärke, um so schwerer wird es den einzelnen Windungen des Ankers, dieselbe zu durchsetzen, und um so langsamer rotiert also auch der Anker. In diesem Falle bedarf es daher zu dem in Rede stehenden Zwecke

nur eines, in den Magnetstromkreis des Umformers eingeschalteten veränderlichen Widerstandes.

Die Zahl der Magnetfelder beträgt übrigens bei dem Apparat der Fig. 51 vier, so daß mithin der in A erzeugte Wechselstrom bei jeder vollen Umdrehung des Ankers vier Polwechsel durchmacht und die Strecken $AC=EC=EG=$ . . . der Fig. 52 in diesem Falle also $^1/_4$ der Umdrehungszeit von A darstellen. Will man demnach damit z. B. in der Sekunde 100 Stromstöße durch die Röhre schicken, so muß der Anker in dieser Zeit 25 volle Umdrehungen machen. Die Magnetpole des Umformers liegen natürlich fest in der unmittelbaren Umgebung des Ankers, und zwar ist die Stellung ihrer Mittellinien in Fig. 51 durch die vier auf den Anker A gezogenen, abwechselnd mit + und — bezeichneten Längslinien angedeutet. Von diesen liegen die beiden ausgezogenen vor und die beiden punktierten hinter der mittleren Vertikalebene der Figur, und zwar so, daß sie, von der Seite aus gesehen, mit dieser Ebene einen Winkel von 45° bilden. Bei der Rotation des Ankers A hat man sich natürlich diese Linien stillstehend zu denken.

Kehren wir indessen noch einmal zu der allgemeinen Kurve des Wechselstromes in Fig. 52 zurück, so sehen wir nun daraus weiter, daß der fortwährende Richtungswechsel eines solchen Stromes zugleich auch ein fortwährendes Auf- und Abschwanken der Stromstärke mit sich bringt.

Schickt man demnach einen solchen Strom wie beim Apparat der Fig. 51 in die Primärspule P eines Transformators hinein, so müssen — nach dem, was wir früher über die Theorie dieses Instrumentes gesagt haben — in der Sekundärspule S desselben ohne weiteres, d. h. auch ohne Anwendung eines Unterbrechers, Induktionsströme entstehen; denn das Auf- und Abschwanken der Stromstärke in der primären Spule des Transformators bewirkt zunächst ein entsprechendes Auf- und Abschwanken des magnetischen Feldes dieses Instrumentes und dieses ruft dann seinerseits wieder — ähnlich wie beim Induktionsapparat — in der sekundären Spule des Instrumentes Induktionsspannungen hervor. Ferner wird auch hier die bei dem jedesmaligen Anstieg des primären Wechselstromes erzeugte sekundäre Induktionsspannung die entgegengesetzte Polarität haben wie die beim Abfall jenes Stromes entstehende, so daß wir es also auch hier in der sekundären Spule S unseres Transformators — genau so wie in der des Induktionsapparates — stets mit zwei, abwechselnd auftretenden Spannungen von entgegengesetzter Polarität zu tun haben.

Während nun aber beim Induktionsapparat — infolge der

eigenartigen Wirkung des Stromunterbrechers — der Abfall des primären Stromes ganz außerordentlich viel steiler vor sich geht als der Anstieg (s. Fig. 44 I auf S. 146) und daher auch die sekundäre Öffnungsspannung stets sehr viel höher wird als die entsprechende Schließungsspannung, so ist nun hier beim Wechselstrombetrieb — wegen der, ja auch aus Fig. 52 ersichtlichen, vollkommen gleichmäßigen Art des Anstiegs und Abfalls des primären Stromes — auch die Höhe der sekundären Anstiegs- und Abfallsspannung die gleiche, so daß mithin ein solcher Wechselstrom ohne weiteres zum Betriebe einer Röntgenröhre gänzlich unbrauchbar ist. Denn, würde man z. B. den in obiger Weise in der Sekundärspule S des Transformators der Fig. 51 erzeugten hochgespannten Wechselstrom der Röntgenröhre R derselben direkt zuführen, so wäre in diesem Falle die Stärke des verkehrt gerichteten Stromes in der Röhre natürlich ebenso groß wie die des richtig gerichteten, und der erstere wurde dann, da ja für ihn die Antikathode der Röhre zur Kathode wird, eine ganz außerordentlich schnelle Zerstäubung des Platins dieser Elektrode und damit auch eine sehr schnelle Aufzehrung des Luftinhaltes der Röhre bewirken.

Bei dem Snook-Apparat wird nun dieser Übelstand dadurch vermieden, daß der in der Sekundärspule S des Transformators der Fig. 51 erzeugte hochgespannte Wechselstrom eben nicht direkt zu der Röntgenröhre R hingeführt wird, sondern über einen sog. Hochspannungsgleichrichter G, der nämlich, wie sein Name sagt, den von den entgegengesetzt gerichteten Spannungen des Transformators erzeugten Stromstößen in demjenigen Teile des Stromkreises, in welchem sich die Röntgenröhre befindet, die gleiche Richtung gibt, so daß sie also diese in gleichem Sinne durchlaufen. Dadurch wird dann aber offenbar ein doppelter Vorteil gewonnen: einesteils nämlich der, daß ein verkehrt gerichteter Strom in der Röhre überhaupt nicht zustande kommen kann, und anderenteils der, daß in diesem Falle beide Induktionsphasen des Wechselstromes ausgenutzt werden, während beim Induktorbetrieb immer nur die eine, nämlich die beim Abfall des primären Stromes in dem Transformator erzeugte Induktionswirkung zur Verwendung kommt. Darum läßt sich denn auch mit einem in der obigen Weise arbeitenden Wechselstromapparat schon bei verhältnismäßig geringem Aufwand von primärer Energie eine ganz beträchtliche Wirkung in der Röntgenröhre erzielen.

Hochspannungs-Gleichrichter

Die bei dem Snook-Apparat benutzte Form des Hochspannungsgleichrichters besteht nun, wie die Fig. 51 zeigt, zunächst aus einer langen Stange LM aus isolierendem Material, die bei F

fest mit der Achse des Ankers *A* des Umformers verschraubt ist. Senkrecht durch *LM* sind weiter — in größerem Abstande voneinander — vier dünne Metallstäbe *I*, *II*, *III* und *IV* gesteckt, und zwar so, daß *I* parallel zu *III* und *II* parallel zu *IV* gerichtet ist, und daß ferner die durch die ersteren beiden gehende Ebene auf der, durch die letzteren beide gehenden senkrecht steht. In Fig. 51 ist die erstere dieser beiden Ebenen vertikal, und die letztere also horizontal angenommen, so daß daher die Stäbe *I* und *II* in voller Länge, *III* und *IV* dagegen in perspektivischer Verkürzung gezeichnet sind. Bei der Rotation von *LM* ändert sich aber natürlich die Lage der beiden Ebenen fortwährend, doch bleiben sie dabei natürlich stets senkrecht aufeinander, so daß z. B. nach $^1/_4$ Umdrehung von *LM* *I* und *III* horizontal, und *II* und *IV* vertikal stehen usw.

Außer der rotierenden Achse *LM* mit ihren vier Stäben *I*, *II*, *III* und *IV* besteht nun der Hochspannungsgleichrichter des Snook-Apparates noch aus einem feststehenden Teil, nämlich den acht kreisförmig gebogenen Blechstreifen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8, von denen aber jeder nur etwa $^1/_4$ des ganzen zugehörigen Kreisumfangs umspannt, und von denen immer die zwei, in Fig. 51 übereinandergezeichneten, also 1 und 5, ferner 2 und 6 usw. einander in der Weise zugeordnet sind, daß sie gegenüberliegende Teile eines und desselben Kreisumfanges bilden. Zwei solcher Streifen, z. B. 1 und 5, haben daher, von der Seite gesehen, das Aussehen der in Fig. 53 mit denselben Zahlen bezeichneten Kreisbögen; und zwischen ihnen rotiert dann, wie diese Figur ebenfalls mit größerer Deutlichkeit als Fig. 51 erkennen läßt, der Stab *I*.

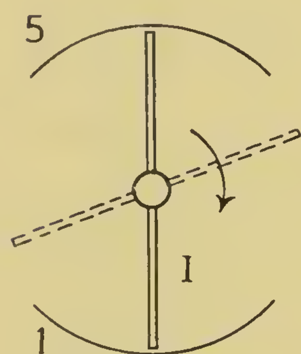


Fig. 53.

Denkt man sich nun weiter den Bogen 1 mit einem der beiden Pole der Sekundärspule des Hochspannungstransformators verbunden, so wird die von diesem Pole ausgehende hochgespannte Elektrizität bei der Rotation der Achse *LM* immer nur so lange von Bogen 1 zu Bogen 5 übergehen können, wie der Metallstab *I* sich zwischen beiden Bögen befindet, d. h. also immer nur während zweier der vier Viertel einer jeden vollen Umdrehung von *LM*. Eines dieser Viertel ist nämlich dasjenige, während dessen sich das in Fig. 53 oben befindliche Ende des Stabes unter dem Bogen 5 hindurchbewegt, und das andere Viertel dasjenige, wo das untere Ende des ersteren unter dem letzteren hindurchstreicht. Außer diesen beiden Viertelumdrehungen der Achse *LM* gibt es aber noch zwei andere dazwischen fallende Viertel, bei denen kein

Stromübergang zwischen den Bögen 1 und 5 stattfinden kann; und diese bilden offenbar diejenigen Teile der Umdrehungszeit, bei denen den Enden des Stabes *I* kein metallischer Bogen gegenübersteht, zwei Phasen, von denen in Fig. 53 ein bestimmter Moment durch die punktiert gezeichnete Stellung des Stabes festgehalten worden ist. Wähernd dieser beiden Phasen der Umdrehungszeit kann dann also in den Gleichrichter der Fig. 51 zwar kein Strom von Bogen 1 zum Bogen 5 übergehen, wohl aber von 2 nach 6 hin; denn es steht bei der Umdrehung von *LM* der Stab *II* ja stets senkrecht auf *I*, und während der Phasen, wo der erstere über die Lücken zwischen 1 und 5 streicht, wird der letztere demnach sich gerade zwischen seinen zugehörigen Bögen bewegen.

Verbindet man demnach, wie in Fig. 51 gezeichnet ist, die beiden Bögen 1 und 2, ferner 3 und 4, dann 5 und 8 und endlich 6 und 7 dauernd miteinander, ferner die beiden ersten dieser Paare ebenfalls dauernd mit je einem der beiden Pole der Sekundärspule *S* des Transformators und die beiden andern dauernd mit den beiden Elektroden der Röntgenröhre *R*, so hat man nur noch, um eine richtige Wirkung des Gleichrichters zu erzielen, die Achse *LM* desselben in der richtigen Weise mit der Achse des Umformerankers *A* zu verbinden; und zwar so, daß die vier Stäbe der ersteren sich gerade in demjenigen Augenblicke in der, in der Fig. 51 gezeichneten Stellung befinden, wo die vom oberen Pole der Sekundärspule *S* des Transformators ausgehende, positive Wechselstromphase ihren Maximalwert erreicht. Der Weg, welchen diese Phase dann nimmt, geht nämlich offenbar von jenem Pole aus zunächst zu den Bögen 3 und 4, dann von 3 über Stab *III* zu Bogen 7 — der Weg von 4 nach 8 hin ist in diesem Augenblick unterbrochen — dann von 7 aus zur Antikathode der Röntgenröhre, dann durch diese in der richtigen Richtung, dann von ihrer Kathode zu den Bögen 5 und 8 hin, dann von 5 aus durch Stab *I* zu Bogen 1 und schließlich von hier aus zurück zum andern Pole von *S*.

Nach einer Viertelumdrehung der gemeinschaftlichen Achse des Ankers und des Gleichrichters, wo die Stäbe *I* und *III* des letzteren horizontal und *II* und *IV* vertikal stehen, und wo ferner der in ersterem erzeugte Wechselstrom genau eine halbe Periode durchlaufen hat, so daß also jetzt positive Phase des hochgespannten Wechselstromes an dem unteren Pole von *S* liegt (eingeklammerte Vorzeichen), geht der positive Strom von hier aus zu den beiden Bögen 1 und 2, dann von 2 durch Stab *II* zu Bogen 6 und von hier aus wieder zur Antikathode der Röhre, so daß diese also auch jetzt wieder in der richtigen Richtung vom Strom durchsetzt wird,

dann von ihrer Kathode zu den Bögen 5 und 8 und schließlich von 8 durch Stab *IV* zu Bogen 4, um von hier aus an den oberen Pol von *S* zurückzukehren.

Nach einer weiteren Viertelumdrehung der Achse *LM* stehen die Stäbe *I—IV* wieder wie in der Fig. 51 und zugleich ist dann auch im Transformator wieder ein Polwechsel vor sich gegangen, so daß also dann der Stand der Dinge genau wieder so ist wie in dem oben zuerst betrachteten Augenblick; nach einer abermaligen Vierteldrehung ist ferner wieder der zu zweit betrachtete Zustand vorhanden usw.

Der Hochspannungsgleichrichter verwandelt demnach, kurz ausgedrückt, den hochgespannten Wechselstrom der Sekundärspule *S* des Transformators für den in Fig. 51 oberhalb von *G* gezeichneten Teil seines Stromkreises in pulsierenden Gleichstrom, und in diesen Teil hat man daher auch nicht bloß die Röntgenröhre sondern auch das die hindurchgehende Stromstärke messende Milliampèremeter oder Voltameter zu schalten, von denen das erstere auch hier wieder nur ein Drehspulinstrument sein darf. (Näheres s. Kap. 4.) Dasselbe zeigt ferner auch in diesem Falle nur dann richtig an, wenn durch die Röhre kein verkehrt gerichteter Strom geht. Diese Möglichkeit liegt indessen hier nur dann vor, wenn die Achse *LM* des Gleichrichters der Fig. 51 bei *F* daselbst unrichtig mit der Achse des Umformerankers *A* verbunden ist, oder wenn im Gleichrichter selbst durch mangelhafte Isolation ein fehlerhafter Funkenübergang stattfindet, zwei Übelstände, die bei ordnungsgemäßer Beschaffenheit und Aufstellung des Apparates nicht vorkommen dürfen, andernfalls aber natürlich sofort beseitigt werden müssen. Zur Erkennung des verkehrt gerichteten Stromes bedient man sich auch hier wieder am besten der Glimmlichtröhre (s. S. 78).

Stromkurve beim Snook-Apparat

Um uns nun aber ferner auch noch über die Gestalt der Kurve des bei dem Snook-Apparat durch die Röntgenröhre gehenden Stromes klar zu werden, nehmen wir zunächst an, daß sich in der Fig. 51 an Stelle der Röhre *R* ein gewöhnlicher Widerstand, also etwa eine größere Reihe hintereinander geschalteter Glühlampen befinden. In diesem Falle wird nämlich der Strom, da er sofort beim ersten Einsetzen der in *S* erzeugten Induktionsspannung zu fließen beginnt und auch der Größe dieser Spannung stets proportional bleibt, sich ebenso wie diese nach einer einfachen, wellenartig gekrümmten Kurve ändern, in der jedoch — eben infolge der Wirkung des Gleichrichters — die Wellentäler gleichfalls in Wellenberge verwandelt sind, so daß also die Stromkurve in diesem Falle das Aussehen der Fig. 54 haben wird. Der Strom schwankt dann also fortwährend zwischen Null und einem gewissen positiven Maximum,

$BH = DJ = FK = \ldots$ hin und her und wird niemals negativ, d. h. er kehrt niemals — wie ein gewöhnlicher Wechselstrom (s. Fig. 52) — seine Richtung um, so daß man ihn deshalb auch als pulsierenden Gleichstrom bezeichnet.

In dem Falle jedoch, wo wir es mit einer Röntgenröhre zu tun haben, hat der Strom des Snook-Apparates nicht mehr die regelmäßige Gestalt der Fig. 54; denn es steigt dann zwar die Spannung an den Enden der Röhre vom Zeitpunkte A ab in ähnlicher Weise

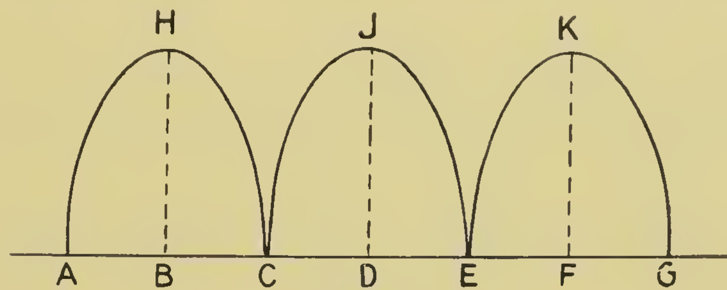


Fig. 54.

an, wie jene Kurve zeigt, ein Strom tritt jedoch in ihr erst von dem Augenblicke an auf, wo die Spannung hoch genug geworden ist, um das Vakuum der Röhre zu durchbrechen. Dieser Augenblick ist in der Fig. 55, in welcher die ausgezogenen Kurven diejenigen des Stromes und die gestrichelten diejenigen der Spannung bedeuten sollen, im Punkte B' eingetreten, so daß also die Ordinate $B'B$ die Größe der dann an den Enden der Röhre herrschenden Spannung darstellt. Von da ab steigt dann die Spannung nicht

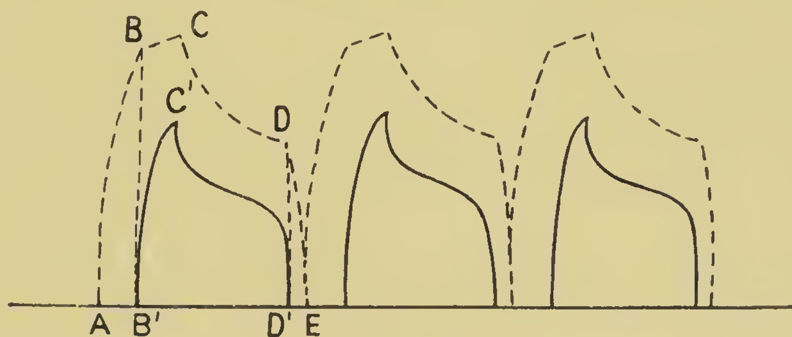


Fig. 55.

mehr wesentlich an, da sie sich ja jetzt sofort durch die Röhre ausgleichen kann; der Strom dagegen schnellt vom Punkte B' ab ziemlich plötzlich in die Höhe, da sich nämlich in der Zeit AB' eine gewisse Elektrizitätsmenge an den Enden der Röhre sowie an den, damit verbundenen Metallteilen des Gleichrichters angesammelt hat, die sich nach der Durchbrechung des Widerstandes der Röhre ziemlich plötzlich durch die letztere ausgleicht. Daraus ergibt sich dann, daß die Stromkurve ihre maximale Höhe C' schon bald nach Beginn des Stromes erreichen und von da ab auch in der Regel

zunächst wieder ziemlich schnell abfallen wird, um sich sodann eine Zeitlang auf mittlerer Höhe zu halten, wie die Fig. 55 andeutet. Während dieses letzteren Zeitraumes wird ferner auch die Kurve der Spannung annähernd mit derjenigen des Stromes parallel gehen, da sich ja dann die Röhre annähernd wie ein gewöhnlicher Widerstand verhält.

Schließlich fällt der Strom wieder ziemlich plötzlich ab; und zwar offenbar von demjenigen Augenblick an, wo die allmählich abnehmende Spannung des Transformators nicht mehr ausreicht, um das Röhrenvakuum zu durchschlagen. Die Größe derselben ist hier allerdings erheblich niedriger als die der Ordinate $B'B$, die zum anfänglichen Durchbrechen des Röhrenwiderstandes nötig war; denn der Widerstand des Vakuums der Röhre sinkt während des Stromdurchganges — infolge der ionisierenden Wirkung des Stromes selbst — stets in ziemlich beträchtlichem Grade. In dem Punkte E endlich erreicht auch die Spannung ihren Nullwert, und von hier ab wiederholt sich dann der Verlauf der beiden Größen in derselben Weise wie vorher.

Aus diesen Darlegungen ergibt sich demnach, daß die Dauer der einzelnen durch die Röhre gehenden Stromstöße bei dem Snook-Apparat nicht viel kleiner ist als die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Polwechseln, so daß also der Strom in diesem Falle nicht wie beim Induktorbetrieb in einzelnen, sehr kräftigen Stößen mit verhältnismäßig langen, dazwischen liegenden Pausen fließt (s. Fig. 44, II auf S. 146) sondern die ganze Arbeitszeit nahezu gleichmäßig ausfüllt. Diese letztere Tatsache stellt nun aber offenbar einen weiteren Vorzug des in Rede stehenden Apparates dar, indem nämlich dadurch — aus denselben Gründen, die wir oben S. 150 f. f. bei dem Vergleich der Arbeitsweise kleiner oder großer Induktoren dargelegt haben — eine größere Schonung der Antikathoden der Röhren bewirkt werden muß. Denn, wenn auch die Erwärmung dieser Elektrode — im ganzen genommen — lediglich von der mittleren Belastung der Röhre abhängt, und diese natürlich bei jeder Betriebsweise die gleiche bleiben muß, wenn man die gleiche Röntgenwirkung erzielen will, so dürfte doch auch eine größere Höhe der Maximalwerte der einzelnen, durch die Röhre gehenden Stromstöße insofern schädlich wirken, als dadurch noch wieder besonders starke lokale Erhitzungen und infolgedessen auch lokale Verdampfungen des Antikathodenmetalles veranlaßt werden können. Andererseits ist allerdings zu erwähnen, daß auch beim Snook-Apparat die Antikathoden fast aller gegenwärtig existierenden Röntgenröhren noch ziemlich stark angegriffen werden, wenn man damit jene gewaltigen Energiemengen in sie hineinwirft, wie sie bei stärkeren Körperteilen zur Herstellung sehr

kurz dauernder Aufnahmen nötig sind. Die Größe der Zerstörung wächst hierbei zumal mit der Schärfe des Brennfleckes, so daß man daher für solche Aufnahmen besser Röhren mit etwas weniger scharfer Zeichnung verwendet.

Was sodann noch die Betriebsweise des Snook-Apparates des näheren angeht, so wendet man auch hier — ähnlich wie bei dem mit Wehneltunterbrecher arbeitenden Induktionsapparat — mit großem Vorteil einen Transformator mit veränderlicher Selbstinduktion der Primärspule an. Auch bei Wechselstrombetrieb ist nämlich der maximale Wert der mit dem Transformator zu erhaltenden Spannung um so größer, je größer das Übersetzungsverhältnis dieses Instrumentes ist, d. h. um so kleiner — bei gleicher Sekundärspule — die Zahl der Windungen der primären Spule genommen wird. Andererseits arbeitet man aber dort, wo es nicht auf die Erreichung der maximalen Spannung ankommt, d. h. also in unserem Falle bei dem Betriebe einer weicheren Röntgenröhre, wieder besser mit einer größeren primären Windungszahl, weil man dann die gleiche Wirkung in der Röhre mit einem geringeren Aufwand von primärer Energie erzielt.

Daß man ferner bei dem Apparat der Fig. 51 auch noch den Anker *A* des Umformers langsamer oder schneller laufen lassen und dadurch dann die Zahl der in der Sekunde stattfindenden Polwechsel und somit auch die der in dieser Zeit durch die Röntgenröhre gehenden Stromstöße kleiner oder größer machen kann, wurde schon oben erwähnt. Ein Bedürfnis für eine solche Änderung liegt jedoch in diesem Falle kaum vor; und man wird sie daher hier auch um so weniger vornehmen, als eine Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Ankers zu schnellerer Abnutzung der Maschine, eine Erniedrigung derselben aber andererseits wieder eine Herabsetzung der Höhe der mit dem Transformator zu erreichenden Spannung bewirken würde.

Vorgänge im Wechselstromtransformator

Es ist daher für uns lediglich von theoretischem Interesse, wenn wir hier noch kurz auf die zuletzt erwähnte Eigentümlichkeit des Wechselstromtransformators eingehen, eine Eigentümlichkeit, die also darin besteht, daß die Höhe der in der Sekundärspule dieses Instrumentes erzeugten Spannung auch von der Zahl der Polwechsel des Stromes abhängt. Diese Eigenschaft stellt nämlich für uns insofern eine völlig neue Erscheinung dar, als beim Induktionsapparat eine derartige Abhängigkeit zwischen der Zahl der Unterbrechungen und der Höhe der sich bei jeder einzelnen Unterbrechung ergebenden Induktionsspannung nicht vorhanden ist und man daher auch bei diesem Instrumente bei jeder Röhrenbelastung die Zahl der Unterbrechungen ziemlich willkürlich wählen kann.

Den Grund dafür nun, daß bei dem mit Wechselstrom betriebenen Transformator die Höhe der sekundären Spannung in unmittelbarem Zusammenhang mit der Polwechselzahl des Stromes steht, erkennt man sofort, wenn man einerseits berücksichtigt, daß jene Induktionsspannung in diesem Falle lediglich durch das durch den primären Wechselstrom selbst bewirkte und also durch Fig. 52 dargestellte Auf- und Abschwanken des magnetischen Feldes des Transformators bewirkt wird und also auch um so höher sein wird, je steiler der Anstieg und Abfall dieses Schwankens vor sich geht, und dann andererseits erwägt, daß z. B. mit der Verringerung der Zahl der Polwechsel, wenn dabei die höchsten und tiefsten Werte der Kurve der Fig. 52 die gleichen Werte behalten, die Steilheit jener Schwankungen natürlich abnimmt.

Im allgemeinen beträgt nun bei den, in der Elektrotechnik gebräuchlichen Wechselströmen die Zahl der Polwechsel etwa 100 in der Sekunde, so daß dann auch der Übergang des magnetischen Feldes eines Wechselstromtransformators von dem Maximalwert der einen seiner beiden Polaritäten zu dem der entgegengesetzten in $^1/_{100}$ Sekunde vor sich geht. Dieser Zeitraum ist nun aber, verglichen mit demjenigen, in welchem der Abfall des magnetischen Feldes eines mit einem guten Stromunterbrecher betriebenen Funkeninduktors vor sich geht, als ein ganz außerordentlich großer zu bezeichnen, so daß deshalb auch ein Wechselstromtransformator, wenn er dieselbe Funkenlänge liefern soll wie ein Funkeninduktor, nach ganz anderen Prinzipien gebaut werden muß als dieser. Tatsächlich verwendet man denn auch in jenem Falle stets die in Fig. 42 (S. 143) abgebildeten Form des Transformators, d. h. also einen solchen mit kurz geschlossenem Magnetkreis, ja man pflegt sogar, um den letzteren möglichst kurz herum schließen zu können, noch den ganzen Transformator in Öl zu setzen, da nämlich dann der äußere Teil seines Eisenkerns sehr viel näher an der sekundären Spule vorbeigeführt werden kann, ohne daß die hohe Spannung der letzteren in ihn hineinschlägt. Die beschriebene Maßnahme genügt indessen für sich allein noch nicht, um mit dem Wechselstrom der genannten Periodenzahl die im Röntgenbetriebe notwendige Höhe der Spannung zu erzielen, sondern man muß zu diesem Zweck außerdem auch noch die Zahl der sekundären Windungen des Transformators ganz beträchtlich höher und die der primären ganz beträchtlich niedriger machen, d. h. also mit einem sehr viel höheren Übersetzungsverhältnis arbeiten, als bei einem Funkeninduktor von gleicher Funkenlänge üblich ist.

Ehe wir den Snook-Apparat verlassen, sei noch erwähnt, daß in dem Falle, wo das in Frage kommende Röntgenlaboratorium

schon von vornherein einfachen Wechselstrom von einem Wechsel- oder Drehstromwerk beziehen kann, manche Firmen auf die Umformung desselben verzichten, da eine solche in diesem Falle sehr kostspielig wird. Deshalb schickt man dann den Strom des Werkes direkt in den primären Stromkreis des Transformators der Fig. 51 hinein. Um dann aber ferner den Hochspannungsgleichrichter G derselben im gleichen Takte mit den Polwechseln jenes Stromes zu bewegen, wird ein sog. Synchronmotor verwendet, d. h. ein kleiner Motor, der ebenfalls von dem Wechselstrom des Werkes angetrieben wird, und der sich dabei von selbst auf die entsprechende Umdrehungsgeschwindigkeit einstellt. Röntgenanlagen dieser Art wurden übrigens schon mehrere Jahre vor dem Auftauchen des Snook-Apparates vielfach von der Firma Koch & Sterzel in Dresden ausgeführt.

Grissonator

Schließlich mag hier noch eine dritte, theoretisch sehr eigenartige und in der Praxis auch bereits vielfache benutzte Form eines Röntgenapparates beschrieben werden, der Grissonator nämlich, so genannt nach seinem Erfinder, dem Ingenieur Grisson in Berlin. Bei diesem Apparat wird zunächst als Hochspannungstransformator ein gewöhnlicher Induktor, d. h. also ein Instrument von der Form der Fig. 41 S. 143, und zum Betriebe des letzteren ferner gewöhnlicher Gleichstrom benutzt, so daß sich also insoweit hier alles genau so verhält wie beim Induktorbetrieb. Statt des in diesem Falle notwendigen Unterbrechers befindet sich nun jedoch beim Grissonator in dem primären Stromkreise des Induktors einesteils ein rotierender Polwender von sogleich näher zu beschreibender Konstruktion und anderenteils auch noch ein Kondensator, auf den wir ebenfalls noch näher zurückkommen werden.

Der in Rede stehende Stromkreis ist schematisch in der Fig. 56 dargestellt; und zwar bezeichnet darin zunächst — wie in Fig. 43 S. 145 — E die Stromquelle, W den Regulierwiderstand, P die Primärspule des Induktors und S den Stromschlüssel. An die Stelle des Unterbrechers U der Fig. 43 tritt nun aber hier zunächst der rotierende Polwender R, der hier der Übersichtlichkeit wegen etwas anders gezeichnet ist, als er in Wirklichkeit ausgeführt wird, hinsichtlich seiner Wirkung aber mit dem der letzteren übereinstimmt. Derjenige unserer Figur besteht nun aus einer, zwischen den vier Metallbürsten 1, 2, 3 und 4 um die Achse A rotierenden Walze aus isolierendem Material, auf deren Umfang zwei metallische Bögen I und II in der Weise angebracht sind, daß sie, ohne sich zu berühren, je etwa $^3/_8$ des ganzen Umfanges der Walze einnehmen. Bei der Rotation der letzteren verbinden sie dann in derjenigen Stellung,

welche in Fig. 56 gezeichnet ist, Bürste 1 mit 4 und gleichzeitig 2 mit 3, nach Verlauf einer Viertelumdrehung jedoch offenbar 1 mit 2 und dann gleichzeitig 3 mit 4, nach Verlauf einer abermaligen Vierteldrehung wieder wie zuerst 1 mit 4 und gleichzeitig 2 mit 3 usw. Dabei währt die Dauer dieser Verbindungen — bei der oben angenommenen Ausdehnung der Bögen I und II — jedesmal $^1/_8$ der ganzen Umdrehungszeit der Walze, bei 25 Umdrehungen in der Sekunde also z. B. $^1/_{200}$ Sekunde.

Von den vier Bürsten des Polwenders sind nun, wie die Fig. 56 zeigt, 1 und 3 direkt in den primären Stromkreis eingeschaltet, während 2 und 4 mit den beiden Belägen eines Kondensators C in Verbindung stehen. Setzt man jetzt, wie es auch in der Praxis

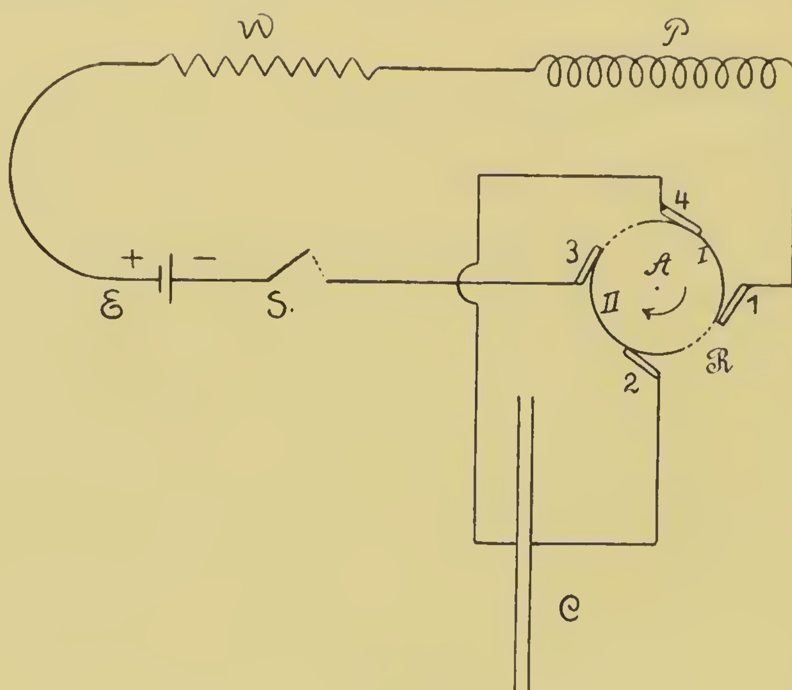


Fig. 56.

zu geschehen hat, zunächst den Polwender R in Rotation und schließt dann — nach Vorschaltung einer geeigneten Stufe des Regulierwiderstandes W — den Hauptschalter S, so ist bei derjenigen Stellung der Bögen I und II, welche in Fig. 56 dargestellt ist, der positive Pol der Elektrizitätsquelle E über W, P, 1, I und 4 mit dem linken Belag des Kondensators C verbunden und der negative Pol von E über S, 3, II und 2 mit dem rechten Belag, so daß also dann eine Ladung des Kondensators — und zwar in dem Sinne stattfindet, daß der linke Belag positiv und der rechte negativ wird. Mit andern Worten heißt dies, daß in dem Augenblicke, wo bei der Rotation von R die Bögen I und II die in der Fig. 56 gezeichnete Verbindung der Bürsten herzustellen beginnen, in dem Stromkreise E, W, P usw. ein, in dem genannten Sinne gerichteter elektrischer Strom zu fließen anfängt,

ein Strom, der als Ladestrom des Kondensators bezeichnet wird, und der zu Anfang, wo der Kondensator noch leer ist, mit großer Geschwindigkeit anschwillt, jedoch bald seinen Maximalwert erreicht und von da ab von selbst wieder mehr oder weniger langsam abfällt, da nämlich seine Stärke natürlich um so schwächer wird, je größer die sich in dem Kondensator ansammelnde Elektrizitätsmenge wird. Der Ladestrom hört sogar schließlich ganz von selbst auf, dann nämlich, wenn der Kondensator seine volle Ladung aufgenommen hat, ein Zeitpunkt, der freilich in unserem Falle nicht immer erreicht zu werden braucht.

Vorläufig nehmen wir jedoch an, daß die Aufladung des Kondensators *C* so schnell geschehe, daß sie schon beendet ist, wenn bei der weiteren Umdrehung der Walze des Polwenders *R* die hinteren Enden der Bögen I und II sich von den gegen sie schleifenden Bürsten 4 bzw. 2 trennen. Unter dieser Annahme ist nämlich die in Rede stehende Unterbrechung des Stromkreises der Fig. 56 für diesen letzteren selbst ohne jede Bedeutung; denn da dann die Ladung des Kondensators bereits beendet ist, oder der Ladestrom — mit andern Worten — schon von selbst aufgehört hat, so kann er also auch nicht mehr unterbrochen werden. Das einzige vielmehr, was wir hier zu bemerken haben, ist, daß der Kondensator *C* in diesem Augenblick seine volle Ladung besitzt und sie auch bei der in Rede stehenden Unterbrechung ruhig beibehält.

In dem Augenblick jedoch, wo die vorderen Enden der beiden Bögen I und II beim weiteren Fortschreiten in ihrer Rotationsbewegung bzw. mit den Bürsten 2 und 4 in Verbindung kommen, setzt in dem Stromkreis der Fig. 56 wieder ein starker Strom ein; denn dann ist — im Gegensatz zu vorhin — der positive Pol der Elektrizitätsquelle *E* über *W*, *P*, 1, I und 2 mit dem rechten und der negative Pol über *S*, 3, II und 4 mit dem linken Belag des Kondensators *C* verbunden, so daß der letztere sich also jetzt umzuladen beginnt. Der nähere Verlauf dieses Vorgangs ist folgender: zunächst werden die beiden, noch von vorhin in den Belägen des Kondensators angehäuften Elektrizitätsmengen durch neu hinzugeführte, gleiche große Mengen des entgegengesetzten Vorzeichens neutralisiert, und von da ab findet dann weiter auch noch eine Aufladung desselben im entgegengesetzten Sinne wie früher statt. Eine solche Umladung unterscheidet sich daher von der oben betrachteten einfachen Ladung des Kondensators lediglich dadurch, daß bei ihr die doppelte Elektrizitätsmenge durch den Stromkreis hindurchfließt, und es wird daher bei ihr auch die Stärke des Umladestromes in jedem Augenblick doppelt so groß wie die des

einfachen Ladestromes. Der Verlauf des ersteren ist daher auch ganz ähnlich, wie er oben für den letzteren beschrieben wurde, d. h. der Strom steigt zuerst sehr schnell an, erreicht dann bald seinen Maximalwert und fällt dann allmählich wieder ab.

Auf die, durch diesen Verlauf des Umladestromes des Kondensators *C* in der Primärspule *P* des Induktors erzeugten Induktionswirkungen kommen wir weiter unten zurück; zuvor nämlich mögen hier noch die sich bei der weiteren Umdrehung der Walze des Polwenders *R* in dem Stromkreise der Fig. 56 abspielenden Vorgänge verfolgt werden. Dabei wird nun zunächst in dem Augenblick, wo die hinteren Enden der Bögen I und III sich von den Bürsten 1 bezw. 3 trennen, der Stromkreis wieder unterbrochen, ohne daß jedoch dabei, da die Umladung nach unserer Annahme inzwischen erledigt ist, irgendein besonderer Vorgang in diesem Kreise stattfindet. Auch der Kondensator behält dann seine inzwischen erlangte Ladung entgegengesetzten Vorzeichens ruhig bei, und zwar wieder so lange, bis die Bögen I und II bei ihrer weiteren Umdrehung eine neue Verbindung der Bürsten herstellen, d. h. bis die vorderen Enden derselben bezw. mit den Bürsten 3 und 1 in Berührung kommen. Diese Verbindung hat dann aber offenbar für den Stromkreis der Fig. 56 dieselbe Bedeutung wie die daselbst gezeichnete; denn es haben ja jetzt nur die Bögen I und II ihre Stellung gegen früher vertauscht. Mit andern Worten heißt dies, daß in dem genannten Augenblick wieder die oben zuerst beschriebene Verbindung der Kondensatorbeläge hergestellt wird; und die Folge dieser Umschaltung wird daher wieder die sein, daß jetzt abermals eine vollständige Umladung des Kondensators erfolgen muß. Eine solche wird aber ferner auch bei der weiteren Rotation der Walze jedesmal in dem Augenblick stattfinden, wo die Bögen I und II eine neue Verbindung der vier Bürsten des Polwenders herstellen. Dies geschieht nun offenbar bei dem der Fig. 56 bei jeder vollen Umdrehung seiner Walze viermal, so daß also, wenn sich die letztere z. B. 25 mal in der Sekunde herumdreht, in dieser Zeit 100 solcher Umladestromstöße durch den Stromkreis der Fig. 56 gehen. Die Dauer eines jeden dieser Stromstöße beträgt ferner unter diesen Umständen, wie wir bereits oben gesehen haben, $^1/_{200}$ Sekunde, so daß demnach der Zeitraum zwischen je zwei solchen Stromstößen dann ebenfalls $^1/_{200}$ Sekunde währt.

Was nun aber weiter die Wirkung dieser Stromstöße in der Primärspule *P* des Induktors angeht, so ist zunächst zu bemerken, daß dabei zwar in den Leitungen, welche die Bürsten 2 und 4 des Polwenders mit den beiden Belägen des Kondensators verbinden,

ein fortwährender Richtungswechsel der hin und her strömenden Elektrizität stattfindet, d. h. also, daß hierin ein richtiger Wechselstrom fließt. In der Primärspule *P* des Induktors dagegen finden solche Richtungswechsel nicht statt; denn die Verbindung dieses Teiles mit der Elektrizitätsquelle *E* wird ja bei der Umdrehung der Walze von *R* überhaupt nicht geändert. Hier haben wir es also — ähnlich wie beim Unterbrecherbetrieb — nur mit einem pulsierenden Gleichstrom zu tun, jedoch mit dem Unterschied, daß jetzt — im Gegensatze zu dem Stromverlauf beim Unterbrecher — der jedesmalige Anstieg des Stromes außerordentlich schnell und der Abfall verhältnismäßig langsam vor sich geht; und in der gleichen Weise ändert sich natürlich auch das magnetische Feld des Induktors, das ja — bis zum Auftreten des sekundären Stromes wenigstens — mit dem Verlauf des in der Primärspule *P* fließenden Stromes proportional geht. Da nun aber ferner, wie wir in der Einleitung dieses Kapitels gesehen haben, die Höhe der in der Sekundärspule eines Transformators erzeugten Induktionsspannung um so größer wird, je schneller die Änderung des magnetischen Feldes des Instrumentes erfolgt, so wird mithin die in dem Induktor des Grissonators bei der jedesmaligen Schließung der Verbindungen der Beläge des Kondensators erzeugte sekundäre Induktionsspannung sehr viel höher sein als die beim Abfall des Umladestromes entstehende, so daß man also auch sagen kann, daß bei diesem Instrument — im Gegensatze zum Unterbrecherbetrieb — gerade die Schließungsströme des Induktors zum Betriebe der Röntgenröhre dienen.

Andererseits kann man aber nicht behaupten, daß beim Grissonator kein verkehrt gerichteter Strom möglich sei, denn ebensogut wie beim Unterbrecherbetrieb dem bei der Stromunterbrechung erfolgenden steilen Abfall des primären Stromes ein mehr oder minder steiler Anstieg desselben bei seiner Schließung voraufgehen muß, so muß auch beim Grissonator auf den steilen Anstieg des Stromes bei der Schließung notwendigerweise wieder ein Abfall erfolgen; denn sonst wäre ja ein zweiter Anstieg unmöglich. Allerdings darf man die verkehrt gerichteten Ströme dieses Apparates nicht ohne weiteres als „Unterbrechungsströme" bezeichnen, wenn auch der Gegensatz im Verhalten des Apparates zu dem des Unterbrecherbetriebes darauf hinzuweisen scheint. Denn ein eigentliches Unterbrechen der Ladeströme des ersteren müßte offenbar zu einer starken Funkenbildung an den Metallteilen des Polwenders *R* der Fig. 56 führen, so daß wir also wohl anzunehmen haben, daß die Umladung des Kondensators *C* derselben in der Regel so schnell vor sich geht, daß der Strom schon von selbst aufgehört

hat, wenn die Trennung der Metallteile von R stattfindet. Dann aber ist hier die Ursache der verkehrt gerichteten Ströme in der Röntgenröhre nicht in den Unterbrechungen sondern vielmehr in dem naturnotwendigen Abfall der primären Ladeströme des Kondensators C zu suchen. Genauere Untersuchungen liegen hierüber allerdings noch nicht vor.

Kondensator des Grissonators

Schließlich aber möge hier noch etwas näher auf den Kondensator C des Stromkreises der Fig. 56 eingegangen werden, da es nämlich vielfach Verwunderung erregt hat, inwiefern es möglich ist, mit Hilfe eines solchen Instrumentes Ströme von derjenigen Stärke zu erhalten, wie sie zum Betriebe eines Induktionsapparates notwendig sind. Die Größe der Elektrizitätsmenge nun, welche ein Kondensator aufzunehmen mag, bestimmt sich einfach durch das Produkt aus seiner Kapazität und der an seine beiden Beläge angelegten Spannungsdifferenz. Rechnet man die erstere, wie es in der Elektrotechnik üblich ist, nach Farad und die letztere nach Volt, so erzeugt also z. B. eine Spannung von 100 Volt in einem Kondensator von 0,001 Farad eine Ladung von 100 . 0,001 = 0,1 Coulomb. (Coulomb ist die zu Volt und Farad zugehörige Einheit der Elektrizitätsmenge.)

In unserem Falle findet nun, wie wir oben gesehen haben, bei jeder neuen Verbindung, welche der Polwender R der Fig. 56 herstellt, eine vollständige Umladung des Kondensators C statt, so daß also die Elektrizitätsmenge, welche hierbei unter den soeben angenommenen Verhältnissen durch den Stromkreis der Fig. 56 fließt, doppelt so groß wie die oben berechnete, d. h. also 0,2 Coulomb beträgt. Finden ferner 100 solcher Umladungen in der Sekunde statt, so fließen demnach in dieser Zeit 100 . 0,2 = 20 Coulomb durch den genannten Stromkreis, ein Elektrizitätsfluß, der nun aber nichts anderes darstellt als einen Strom von 20 Ampère; denn der Transport von 1 Coulomb in der Sekunde gibt eine Stromstärke von 1 Ampère.

Man sieht demnach, daß man, um beim Grissonator bei 110 Volt Ladespannung auf die gebräuchlichen Stromstärken zu kommen, eines Kondensator von der Größenordnung von 0,001 Farad bedarf. Diese Kapazität ist nun aber etwa 1000mal so groß wie diejenige der auf S. 163 beschriebenen Paraffinpapierkondensatoren, die man beim Unterbrecherbetrieb des Induktors in Verbindung mit einem Platin- oder Quecksilberunterbrecher benutzt; und da nun schon ein solcher Kondensator wegen der vielen dazu erforderlichen Papier- und Stanniollagen ziemlich umfangreich wird, so sieht man ein, daß in unserem Falle ein nach anderen Grundsätzen gebautes Instrument dieser Art erforderlich

wird. Tatsächlich wird denn auch hier zu diesem Zweck ein Satz von 4—12 sog. Aluminiumzellen benutzt, von denen jede nach Angabe des Erfinders etwa 500 Mikrofarad oder 0,0005 Farad hat (1 Mikrofarad ist = 1 Milliontel Farad), so daß man damit also wirklich auf eine Kondensatorgröße von 0,002 bis 0,006 Farad kommt.

Eine solche Aluminiumzelle erhält man nun dadurch, daß man ein größeres, zickzackförmig gefaltetes Aluminiumblech in eine mit einer konzentrierten Lösung von doppeltkohlensaurem Natrium gefüllte elektrolytische Zelle einhängt, deren andere Elektrode entweder aus Blei oder Eisen besteht, und dann — unter Vorschaltung eines abstufbaren Widerstandes — eine kurze Zeit lang einen elektrischen Strom in einer solchen Richtung hindurchschickt, daß dabei das Aluminium positiver Pol ist. Das letztere verbindet sich dann mit dem sich an dieser Elektrode abscheidenden Sauerstoff zu Aluminiumoxyd, einer Substanz, die einen vollkommenen Nichtleiter der Elektrizität darstellt, so daß sie den durch die Zelle gehenden Strom allmählich von selbst unterbricht. Sobald dies eingetreten ist, kann nun die Zelle als Kondensator dienen, denn das Aluminium einerseits und die Flüssigkeit der Zelle andererseits stellen dann die beiden Beläge und das dazwischen liegende Aluminiumoxyd die Isolierschicht dieses Instrumentes dar, und die außerordentlich große Kapazität einer solchen Zelle ist dann in erster Linie auf die sehr geringe Dicke dieser Oxydschicht zurückzuführen. Allerdings scheint die Haltbarkeit dieser Aluminiumzellen doch nur eine begrenzte zu sein, so daß daher der Grissonator auf die Dauer kaum den Wettbewerb mit dem gewöhnlichen Unterbrecherbetrieb aushalten dürfte, zumal da er auch hinsichtlich der verkehrt gerichteten Ströme in der Röntgenröhre nicht vorteilhafter arbeitet als dieser.

Technischer und medizinischer Teil

von

Professor Dr. Albers-Schönberg.

8. Kapitel.

Die gebräuchlichsten Röhrentypen und ihre Behandlung.

Im folgenden sollen diejenigen Röhren besprochen werden, welche, in ihrer Konstruktion in wesentlichen Punkten voneinander abweichend, bestimmte Typen darstellen. Meine persönlichen in zwölf Jahren gewonnenen Erfahrungen erstrecken sich vorwiegend auf die Röhren der Firmen: Müller, Levy, Hirschmann, Polyphos, Gundelach, Bauer, Burger, Koch und Sterzel.

Ich bezweifle nicht, daß auch die Fabrikate hier nicht genannter deutscher und ausländischer Firmen vorzüglich sind. Meinem Prinzip getreu nur solche Instrumente, Apparate usw. zu besprechen, welche ich auf Grund eigener Erfahrung empfehlen kann, muß ich mich auf die Beschreibung der Röhren obengenannter Firmen beschränken.

1. Röhren von C. H. F. Müller (Hamburg).

a) Die Wasserkühlröhre (Walter).

Nach langem Probieren der verschiedensten Modelle bin ich schließlich dahin gekommen, bei Benutzung von Induktoren, den Wasserkühlröhren vor allen anderen den Vorzug einräumen zu müssen. Für die kurzzeitigen oder Momentaufnahmen besonders bei Benutzung der Wechselstromapparate (Snook, Idealapparat usw.) sind indessen die Wasserkühlröhren nicht zu gebrauchen, da ihre Antikathode der enormen Energie nicht gewachsen ist. Hier kommen die Modelle für starke Belastung, ohne Wasserkühlung, in erster Linie die von Bauer und Gundelach in Berücksichtigung. Eine jahrelange Erfahrung mit den Wasserkühlröhren hat mich ihre Eigenarten so genau kennen und schätzen gelehrt, daß man mir gestatten möge, diesen Röhren die eingehendste Schilderung

Wasserkühlröhre (Müller)

zu widmen. Ich betone indessen nochmals, daß auch die Fabrikate anderer Firmen von mir erprobt und absolut erstklassig befunden worden sind. Was die Müllerröhren so außerordentlich wertvoll macht, ist die direkte Wasserkühlung. Es ist nicht allein die Qualität der Glasbläserarbeit, welche ich bei ihnen in erster Linie schätze, sondern das Wasserkühlverfahren, ferner die Einführung meiner auf Grund eigener Erfahrungen gemachten allgemeinen Verbesserungsvorschläge.

Als solche kommen in Betracht 1. die Vergrößerung des Wasserreservoirs bis zu einer Kapazität, daß das Wasser je nach der Belastung nicht vor Ablauf von 3—10 Minuten kocht. 2. Die Erweiterung des unteren Teiles des gläsernen Wasserrohres zum Zweck des bequemen Absaugens des heißen Wassers. 3. Die Abschaffung des scharfen und die Einführung eines leicht abgestumpften Brennpunktes im Interesse der Lebensdauer der Röhre[1]). 4. Die Verdoppelung der Reguliervorrichtung (Fig. 57) mit auswechselbarem Metallhebel (*D*). 5. Die Kühlung mittels flüssiger Kohlensäure. 6. Die Wasserkühlung der Kathode.

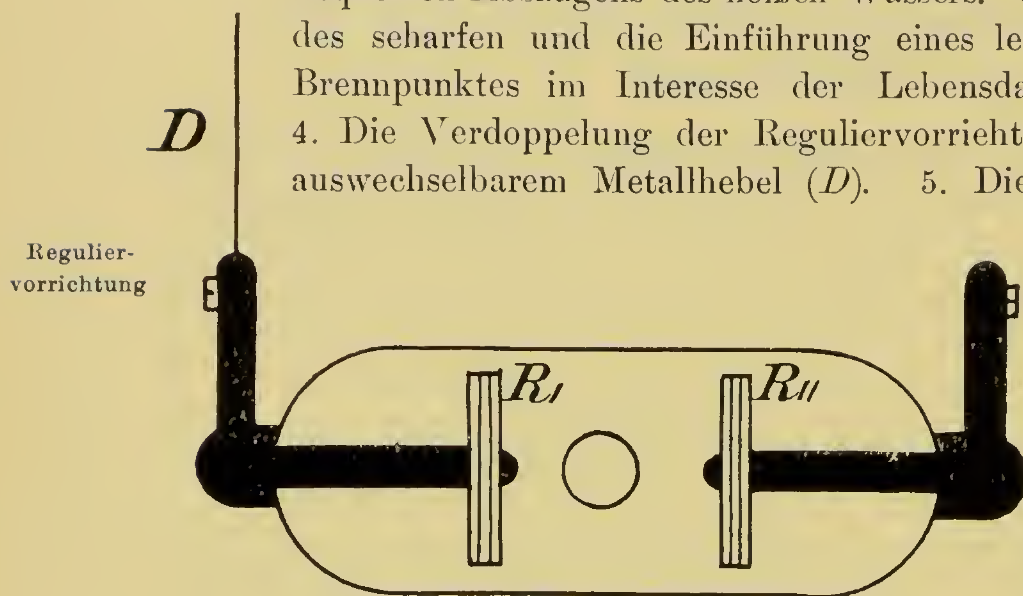


Fig. 57.

Weil durch das Glühen der Antikathode nicht gekühlte Röhren sich erwärmen und infolgedessen so weich werden, daß sie für längere Beanspruchung nicht mehr geeignet sind, ist die Wasserkühlung der Antikathode eingeführt worden.

Die Röhren tragen an Stelle der flächenhaften Antikathode einen kleinen Platinbehälter (Fig. 58) (4), der nach oben mit einem größeren von einem Glasmantel (8) umgebenen Glasgefäß (2) außerhalb der Röhre kommuniziert und bei den besten Exemplaren aus einem Stück gepreßt ist. In dem Gefäß befindet sich Wasser, welches bei voller Belastung (5—6 Milliampère) der Röhre etwa nach 3—4 Minuten Siedehitze erreicht.

Das Gefäß ist außerhalb der Röhre durch eine mit Dampfabzugsloch versehene Glaskugel (9), welche eventuell überkochendes Wasser aufnehmen kann, abgeschlossen. Hierdurch ist das Bespritzen der Kranken mit kochendem Wasser sicher ausgeschlossen.

[1]) Für therapeutisch zu verwendende Röhren hat später auch Holzknecht unscharfe Röhren empfohlen.

Es ist ohne weiteres klar, daß das Antikathodenblech keine wesentlich höheren Temperaturen annehmen kann als das kochende Wasser, so daß es mithin nicht rotglühend werden wird. Der Vorteil dieses Verhaltens der Antikathode liegt auf der Hand, denn erstens kann sich das Vakuum infolge der geringeren Hitze der Antikathode nicht erniedrigen, und zweitens wird äußerst wenig Platin verstäubt, so dass die Erhöhung des Vakuum beim Erkalten der Röhre erst sehr spät eintritt. Siedeverzug oder das Leidenfrostsche Phänomen, welches darin besteht, daß sich eine Dampfschicht zwischen dem Kühlwasser und dem Antikathodenplatinblech, wodurch ein Durchschmelzen der Antikathode veranlaßt werden könnte, bildet, kommt deswegen nicht vor, weil im Wasserbehälter Zirkulation des abgeschlossenen Wasserquantums

Leidenfrostsches Phänomen

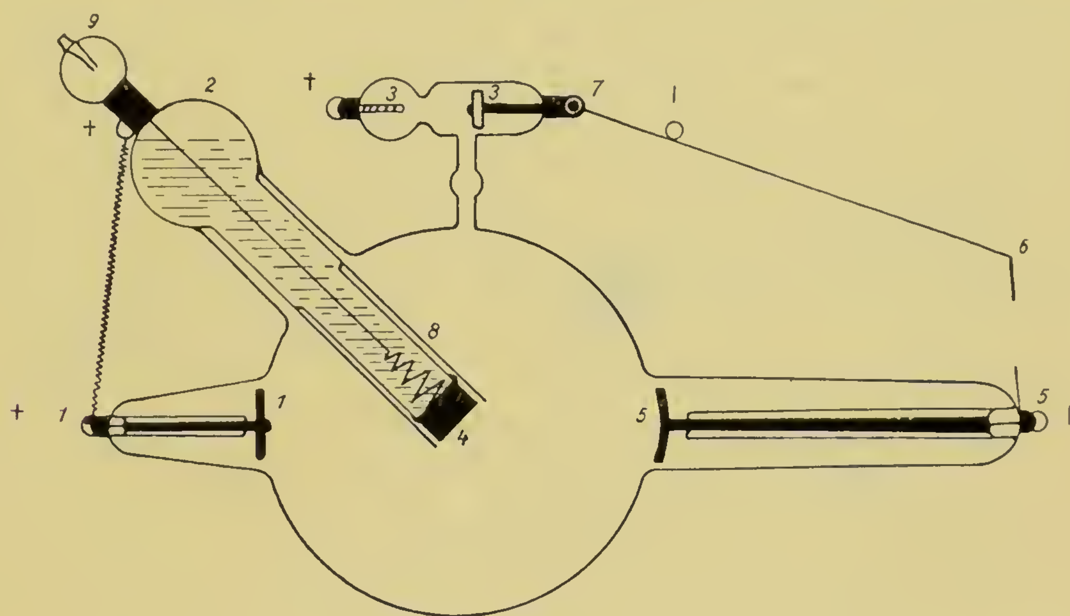


Fig. 58.

eintritt, wovon man sich durch einen Versuch mit Lycopodium, welches dem Kühlwasser zugesetzt wird, überzeugen kann. Von Autoren, welche nicht über genügend praktische Erfahrung verfügen, ist dieses Faktum mit Unrecht bestritten worden. Man hat gelegentlich auf die Innenseite des Antikathodenbleches aus Furcht vor dem L. Phänomen einen nach oben in das Kühlwasser hineinragenden Platinstift aufgeschweißt, ein Vorgehen, welches überflüssig ist. Sollte nicht vielleicht gerade die Stelle, wo der Metallstab auf die Antikathode aufgeschweißt ist, Veranlassung zum Glühen haben, da hier kein Kühlwasser zutreten kann? Das Prinzip der Wasserkühlung ist im Laufe der Jahre immer mehr vervollkommnet worden, so daß wir jetzt Röhren haben, welche bei großem Kaliber (200 mm Kugeldurchmesser) ein weites Glasrohr von ca. 2 cm Durchmesser tragen. Die nebenstehende Fig. 58

illustriert eine solche Röhre, bei welcher außerdem noch die erwähnte Marienglasregulierung (3) angebracht worden ist.

Es ist eine große Kunst, solche Röhren zu konstruieren, und nur bei jahrelanger technischer Erfahrung wird es einem guten Glasbläser möglich sein, derartige Exemplare herzustellen. Der Schwerpunkt liegt darin, daß das Platingefäß, welches einerseits als Antikathode dient, andererseits den Boden des Glasgefäßes bildet, exakt in das letztere eingeschmolzen wird, weil es unbedingt erforderlich ist, daß das Wasser direkt die Rückseite des Antikathodenbleches berührt, um so die Hitze, welche sich auf ihm entwickelt, abzuleiten.

Direkte und indirekte Wasserkühlung

In sich abgeschlossene Glasgefäße, über welche, mit oder ohne metallische Zwischenlagen, Metallgefäße, welche

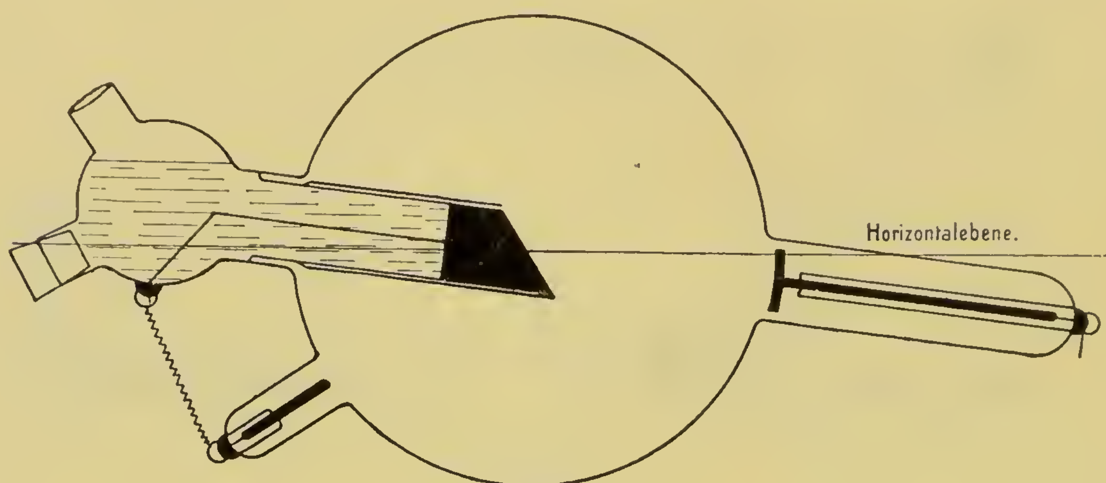


Fig. 59.

als Antikathode dienen, übergeschoben sind, stellen wertlose Nachahmungen der Wasserkühlröhre dar. Bei ihnen findet keine direkte, sondern nur eine indirekte durchaus unzureichende Kühlung statt.

Horizontalröhre

Früher war es nicht möglich, die Wasserkühlröhren für die Orthoröntgenographie oder für die Trochoskopaufnahmen (siehe unten) zu benutzen, da bei der erforderlichen umgekehrten Einstellung das Kühlwasser auslaufen würde. Zurzeit macht die Fabrik auf meine Veranlassung die nachstehend (Fig. 59) abgebildete Röhre, welche beliebig lange Benutzung in der Richtung von unten nach oben gestattet.

Die in der Figur eingezeichnete Horizontalebene zeigt, welchen Grad der Schrägstellung man der Röhre geben muß, um eine richtige Stellung der Wassersäule im Kühlgefäß zu erzielen. Hierbei hat man sehr vorsichtig zu verfahren. Es passierte mir bei Benutzung des Orthodiagraphen, daß das Wasser aus der Röhre in

das hintere Reservoir lief, wodurch die Antikathode nicht mehr gekühlt wurde. Die Folge war ein starkes Glühen der letzteren und sofortiges Heruntergehen des Vakuum bis zum Anodenlicht. Durch ein Versehen wurde, bevor der Platintopf vollständig abgekühlt war, das Wasser wieder zugelassen, welches ein sofortiges Abspringen des ganzen Platintopfes infolge übermäßiger Dampfentwickelung bedingte. Durch die Ausgestaltung und Verbesserung der Wasserkühlröhren ist der Fortschritt der Röntgentechnik in den letzten Jahren zum Teil mit bedingt gewesen.

Wir erreichen mit den Wasserkühlröhren folgende Vorteile:

1. Unverwüstliche Röhrenhaltbarkeit in günstigen Fällen bis über 100000 Expositionssekunden.

2. Durchleuchtungen bei voller Belastung von beliebiger Dauer.

3. Möglichkeit mit derselben Röhre ohne längere Zwischenpausen beliebig viele Aufnahmen machen zu können.

4. Konstanz des Vakuum.

5. Möglichkeit die Röhre sofort, ohne durch Stromwenden ihre Lebensdauer abzukürzen, durch Wasserwechsel oder Kohlensäurekühlung härter machen zu können.

Die vorstehend genannten fünf Punkte sollen im folgenden näher begründet werden.

Ad 1. Für die Haltbarkeit ist außer der beschriebenen Wasserkühlung die Größe der Röhre von Wichtigkeit, denn da das Hartwerden vorwiegend von der Luftabsorption abhängt, so leuchtet es ein, daß mit der Menge der in der Röhre enthaltenen Luft auch ihre Lebensdauer steigen muß. Je größer die Kugel ist, um so mehr verteilt sich auf derselben die von den Kathodenstrahlen hervorgerufene Wärme, um so länger ist sie brauchbar und um so langsamer wird sie härter. Als Optimum der Röhrengröße habe ich einen Kugeldurchmesser von 200 mm gefunden[1]).

Stumpfer Brennpunkt

Sehr wesentlich für die Lebensdauer der Röhre ist die Größe des Brennpunktes. Ist dieser außerordentlich scharf, so wird das Platinblech auch trotz der Wasserkühlung im Fokus bald oberflächlich angeschmolzen, was eine Rauhigkeit der Antikathode, die zur Platinzerstäubung Anlaß gibt, bedingt. Ich lasse zurzeit die Röhren mit etwas abgestumpftem Brennpunkt konstruieren, wodurch das Platinblech für die ganze Lebensdauer der Röhre glatt und spiegelnd bleibt. Wenn auch vom mathematischen Standpunkt beurteilt die Bildschärfe hierdurch beeinträchtigt wird, so kommt dieses für medizinische Untersuchungen absolut nicht in Betracht. Selbst die

[1]) Die Regulierfähigkeit scheint bei großen Formaten weitere Grenzen als bei kleinen zu haben.

feinste Knochenstruktur ist ein so verhältnismäßig grobes Objekt, daß die eventuelle minimale Unschärfe durch das Auge überhaupt nicht wahrgenommen werden kann.

Bezüglich der Lebensdauer der Wasserkühlröhren ist bekannt, daß Walter zehnstündige ununterbrochene Tätigkeit von ihnen verlangte, wobei fast ein halbes Liter Wasser durch Kathodenstrahlen in Dampf verwandelt wurde.

Ich gebe im folgenden eine statistische Tabelle, welche über die protokollarisch festgelegte gesamte Leistungsfähigkeit von 36 im *allgemeinen Krankenhaus St. Georg, Hamburg,* benutzten Röhren, sowie über den hiermit eng verbundenen Kostenpunkt Aufschluß gibt. Die Röhren wurden mit 80 cm-Induktor mit Walterschaltung bei herabgesetzter Primärspannung und Wehnelt stets mit voller Belastung betrieben.

Leistungsfähigkeit und Unkosten der Wasserkühlröhre

Gesamtleistungen von 36 Wasserkühlröhren.

Preis der Röhren in Mark	Gesamtzahl der Einzelexpositionen (Aufnahmen etc.)	Gesamtexpositionsdauer in Sekunden	Kosten der Exposition minutlich in Mark	Kosten d. Einzelexposition (Aufnahme etc.) in Mark
17 à 115 2 à 130 13 à 100 3 à 85 1 à 75 36 zusammen 3845 Erlös für das verkaufte Platin der aufgebrauchten Röhren 360 M. Also Gesamtkosten 3485 M.	13 104 Also ca. 364 Einzelleistungen pro Röhre	1 751 142 Im Durchschnitt pro Röhre: rund 48 643 Sek., „ 817 Min., „ $13^1/_2$ Std.	rund 0,12	0,26

Wir ersehen aus dieser Zusammenstellung, daß die Durchschnittslebensdauer der Röhren etwa 48 643 Sekunden beträgt.

Die höchste bis jetzt bekannt gewordene Gesamtleistung erzielte ich mit einer Wasserkühlröhre, welche vor der ersten Reevakuierung 61 608 Expositionssekunden leistete. Sie wurde zu röntgenographischen Aufnahmen aller Art, sowie zu langdauernden Durchleuchtungen benutzt. Nachdem die Röhre hart geworden war, wurde sie noch zweimal neu evakuiert.

Sie leistete im Ganzen 101 213 Expositionssekunden.

Der Preis der Röhre betrug Mk. 100. Dazu kommt für zweimaliges neues Evakuieren Mk. 30, somit kostete die Röhre Mk. 130. Die Expositionsminute kostete demnach 8 Pfg. Die Röhre wurde

betrieben mit 80 cm-Induktor mit Walterschaltung, sowie elektrolytischem Unterbrecher. Sie wurde stets voll belastet.

Die tiefe Violettfärbung der der Antikathode gegenüberliegenden Hemisphäre war besonders beachtenswert. Die andere Halbkugel zeigte nur schwache Braunfärbung, ein Zeichen dafür, daß nur wenig Metall zerstäubt wurde. Die Antikathode war vollständig glatt und spiegelnd. Die Bilder, welche mit dieser Röhre hergestellt worden sind, zeichneten sich sämtlich durch außerordentliche Schärfe und Kontrastreichtum aus.

Die Neuevakuierung erhöht zwar die Betriebsfähigkeit der Röhre wesentlich, da aber die Kosten für jede neue Auspumpung 15 Mk. betragen, so ist kein Vorteil mit der Reevakuierung verbunden. Für die Einzelleistung (Aufnahme, Durchleuchtung und Therapie) ist ein Betrag von etwa 0,26 Mk. für Röhrenabnutzungsunkosten anzusetzen. 1400 Einzelleistungen entsprechen ungefähr der Jahresarbeit eines mittelgroßen Krankenhauses, eine Arbeit, welche sich also mit ca. drei bis vier Röhren bei einem Kostenaufwand von ca. 364 Mk. leisten läßt. Hierbei ist zu bedenken, daß nicht nur leichte, sondern auch schwierige Aufnahmen und langdauernde Durchleuchtungen und Therapien zu bewältigen sind.

Neuevakuierung

Kosten

Auf Grund vorstehender Zahlen wird jeder, je nach dem ihm zur Verfügung stehenden Krankenmaterial, seine Kostenberechnung anstellen können. Das vielfach gegen die Wasserkühlröhren ins Feld geführte Bedenken betreffs des Kostenpunktes besteht jedenfalls nicht zu Recht.

Bei Benutzung eines kleinen Induktors von z. B. 20—25 cm Funkenlänge schrumpft die Lebensdauer der Wasserkühlröhren genau wie die anderer Röhrenmodelle etwa auf ein Drittel zusammen, wobei die Preise für Ventilröhren noch nicht einmal mitgerechnet sind.

Während die Röhren mit großem Induktor andauernd absolut gleichmäßig und ruhig funktionieren, ist dieses am kleinen Apparat nur solange der Fall wie sie neu und weich sind. Mit zunehmendem Alter werden die Röhren immer unruhiger, d. h. sie flackern, setzen aus usw.

Eine weitere nicht uninteressante Beobachtung ist die, daß die Wasserröhren nach ihrer Reevakuierung am großen Apparat gut funktionieren, am kleinen dagegen nicht in Tätigkeit zu bringen sind. An letzterem zeigen sie Ring-, Fleckenbildung usw., welche durch Vorschaltung einer Ventilröhre nicht beseitigt werden können.

Ad 2. Bei Durchleuchtungen, namentlich zu internen diagnostischen Zwecken, kommt es besonders darauf an, andauernd ein

ruhiges, gutes Licht zu haben. Alle Röhrenmodelle mit verstärkten Antikathoden gehen unter dem Einfluß der Erhitzung bei voller Belastung im Härtegrad herunter. Dieses ist bei der Wasserkühlröhre nur in geringem Maße der Fall. Sie steht in ihrem Vakuum auch bei kochendem Wasser annähernd unverändert. Die kurzen Ruhepausen während Stellungsveränderungen des Patienten genügen vollständig zur Erholung der Röhre. Ich habe wiederholt bis zu 20 Minuten durchleuchtet, ohne eine nennenswerte Änderung der Lichtqualität zu bemerken.

Durchleuchtungen mit der Wasserkühlröhre

Selbstverständlich gilt dieses nicht für neue weiche Röhren, wie solche im übrigen für Durchleuchtungen oder schwierigere Aufnahmen überhaupt nicht in Betracht kommen. Diese Qualität geht selbstredend bei längerem Betriebe im Vakuum herunter.

Stehvermögen der Wasserkühlröhre

Ad 3. 4. 5. Das sogenannte „Stehvermögen" der Wasserkühlröhren bedingt in der röntgenographischen Praxis wesentliche Vorteile. Man ist nämlich nicht auf Röhrenwechsel angewiesen, eine Tatsache, die namentlich bei der Nierensteinuntersuchung schwer ins Gewicht fällt. Für eine doppelseitige Steinuntersuchung sind mindestens fünf Aufnahmen à 120″ bis 150″ Exposition hintereinander zu machen (etwaige Wiederholungen infolge Mißlingens nicht mitgerechnet vgl. Kapitel „Nierensteine"). Jede dieser Aufnahmen muß um Nierenschatten zu erhalten, möglichst mit der idealen Röhrenqualität (W 5-6) gemacht werden. Ein geringes Heruntergehen in der Härte, wie dieses bei der Durchleuchtung kaum bemerkt wird, kann bei Nierensteinaufnahmen einen Mißerfolg bedeuten. Es sind bei diesen Expositionsangaben stets die bisher üblichen und wohl in den meisten Betrieben befindlichen alten Apparate vorausgesetzt. Daß bei Benutzung der Intensivstrominduktoren oder Hochspannungstransformatoren andere Expositionen in Betracht kommen, ist selbstverständlich und wird weiter unten besprochen werden. Um das Vakuum konstant zu erhalten, wechsele ich daher zwischen jeder Aufnahme das Wasser der Kühlvorrichtung. Die Wirkung ist eine sofortige, so daß man nach dem Wasserwechsel die Röhre als noch nicht gebraucht betrachten kann. Die folgende Tabelle gibt einige Aufnahmeserien, welche ohne längere Pausen als zum Platten- und Wasserwechsel erforderlich waren, mit derselben Röhre gemacht wurden.

Wasserwechsel zur Regulierung der Härte

Röhrenprotokoll vom 7. VIII. 04.	
Nierenstein	90″
„	120″
„	90″
„	120″
„	90″
„	120″
„	105″
„	120″
„	120″
„	60″
„	60″
Knie	60″
„	60″
„	60″
„	60″
	1335″

Röhrenprotokoll vom 1. IX. 04.	
Nierenstein	150″
„	120″
„	150″
„	150″
„	180″
Becken	150″
„	150″
„	165″
„	180″
	1395″

Röhrenprotokoll vom 26. X. 04.	
Becken	130″
„	160″
„	180″
„	180″
Nierenstein	150″
„	150″
„	150″
„	150″
„	150″
Gallenstein	150″
„	150″
„	150″
	1850″

Es gibt einzelne Röhren, welche die Eigentümlichkeit haben, in hohem Alter, wenn andere Exemplare bereits an übergroßer Härte leiden, schon nach 60—80 Expositionssekunden derart im Vakuum herunterzugehen, daß sich Kathodenlicht zeigt. In diesem Stadium verharren sie dann, wenn kein Wasserwechsel vorgenommen wird, längere Zeit.

Der Ersatz des im Betrieb heiß gewordenen Kühlwassers durch kaltes Wasser ist die einzige sichere und für die Lebensdauer der Röhre unschädliche Art und Weise, eine weich gewordene Röhre schnell härter zu machen.

Konstante Wasserspülung

Es ist durchaus falsch, die Röhre, wie dieses vorgeschlagen wurde, mit konstanter Spülung zu versehen, denn wir begeben uns hierdurch des Vorteils, des angewärmten oder heißen Kühlwassers. Manche Röhren geben die beste und kontrastreichste Strahlung bei kochendem Wasser. Bei der konstanten Wasserspülung würden wir aber andauernd Röhren härteren Charakters haben, die wohl für dickere Körperteile oder therapeutische Tiefenbestrahlung vorzüglich sind, für dünnere Partien dagegen, sowie für Durchleuchtungen nicht das Optimum darstellen. Man wechselt das Wasser, ohne die Röhre aus dem Stativ zu nehmen, indem man es mit einer Heberflasche absaugt und auffüllt, wobei darauf zu achten ist, daß keine Wassertropfen an der Röhre herunterlaufen.

Mittels des Kühlwassers kann man sehr fein, je nach dem Zustand der Röhre, individualisieren. So wird man unter Umständen nur einen Teil des heißen Wassers durch kaltes ersetzen, was eine

geringere Härtung hervorruft, als wenn man das gesamte Kühlwasser erneuert. Feste Regeln lassen sich für diese Wasserregulierung nicht aufstellen. Da eigentlich keine Röhre der andern in ihren Eigenschaften vollkommen gleicht, so muß man je nach den Umständen verfahren.

Wir müssen unter Berücksichtigung des Vorstehenden die Wasserkühlröhre als eine der höchstentwickelten Röhrentypen anerkennen. Ihr hoher Preis bedeutet keine Verteuerung des Betriebes, da infolge ihrer Lebensdauer, wie wir gesehen haben, der Einzelexpositionspreis ein niedriger ist[1]). Teuer wird der Gebrauch der Wasserröhren erst in der Hand des Unkundigen, der im Vertrauen auf die Kühlwirkung des Wassers die Röhre überlastet und zugrunde richtet. Der Anfänger tut gut, ehe er an die Wasserröhre herantritt, zunächst an billigen Röhren seine Erfahrungen zu sammeln.

Ich beschreibe im Folgenden zwei von mir in Gemeinschaft mit Rodde (Hamburg) konstruierte Wasserkühlröhrenmodelle (Fig. 60

Kohlensäure-Kühlung

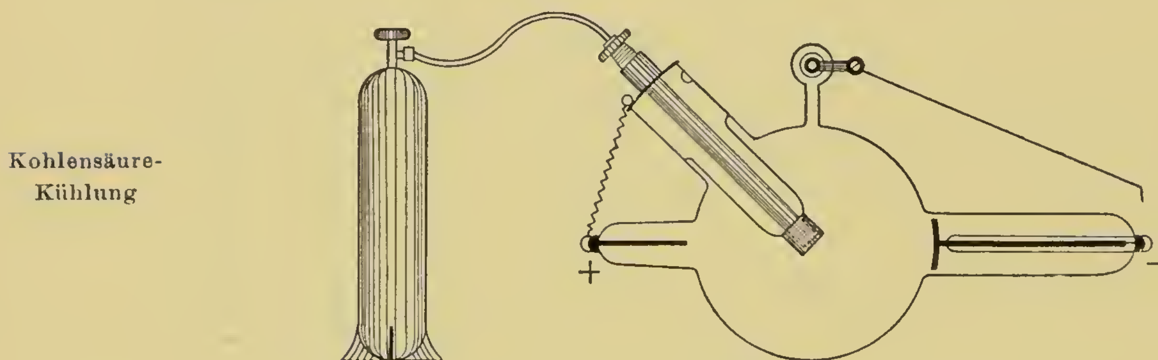


Fig 60.

u. 61), welche unter anderem die z. B. für gynäkologische Tiefenbestrahlungen erforderlichen Eigenschaften in weitestem Maße besitzen. Wenn auch die Erfahrungen mit diesen Röhren noch nicht völlig abgeschlossen sind, so glaube ich doch, daß sie sich in kurzer Zeit zu einem brauchbaren Typ entwickeln werden. Das Neue dieser Modelle ist die intensive Kühlung der Antikathode durch Einführung eines Kühlkörpers in das Wassergefäß, welcher mittels flüssiger Kohlensäure innerhalb weniger Sekunden auf eine derartige Kälte gebracht werden kann, daß er sich mit Eis bedeckt (Fig. 60). Die Rückwirkung der in beschriebener Weise energisch gekühlten Antikathode auf die Röhre äußert sich im Heraufgehen des Vakuum, der durch innere Erhitzung etwas weicher gewordenen Röhre um mehrere Grade. Schon der Kühl-

[1]) Hierfür spricht auch der enorme Export von Wasserkühlröhren nach den Vereinigten Staaten, wo für die Röhre infolge des Zolles ein wesentlich höherer Preis gezahlt wird.

körper allein erlaubt eine längere Benutzung der Röhre, bevor das Wasser heiß wird. Erheblich größer ist aber der Effekt bei Anwendung flüssiger Kohlensäure. Am zweckmäßigsten kühlt man nach Ausschaltung des Stromes. Es ist indessen durchaus möglich, auch bei funktionierender Röhre die Kühlvorrichtung in Tätigkeit zu setzen, nur hat man dann darauf zu achten, daß der Eisbelag am unteren Ende des Kühlkörpers nicht zu dick wird und so das Antikathodengefäß sprengt. Das zweite Modell (Fig. 61), welches ebenfalls den Zweck verfolgt, dauernd harte Strahlen von großer Penetrationskraft zu liefern, ist mit einer durch Wasser, eventuell auch durch Kohlensäure kühlbaren Kathode ausgerüstet. Bisher ist dieser Versuch in der Röhrenindustrie noch nicht gemacht worden, jedoch erscheint er mir Existenzberechtigung zu haben, da ein großer Teil der in der Röhre entstehenden Hitze auf die enorme Erwärmung der Kathode, welche sich bis zur Rotglut steigern kann, zurückzuführen ist.

Kühlbare Kathode

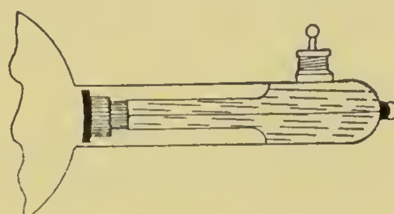


Fig. 61.

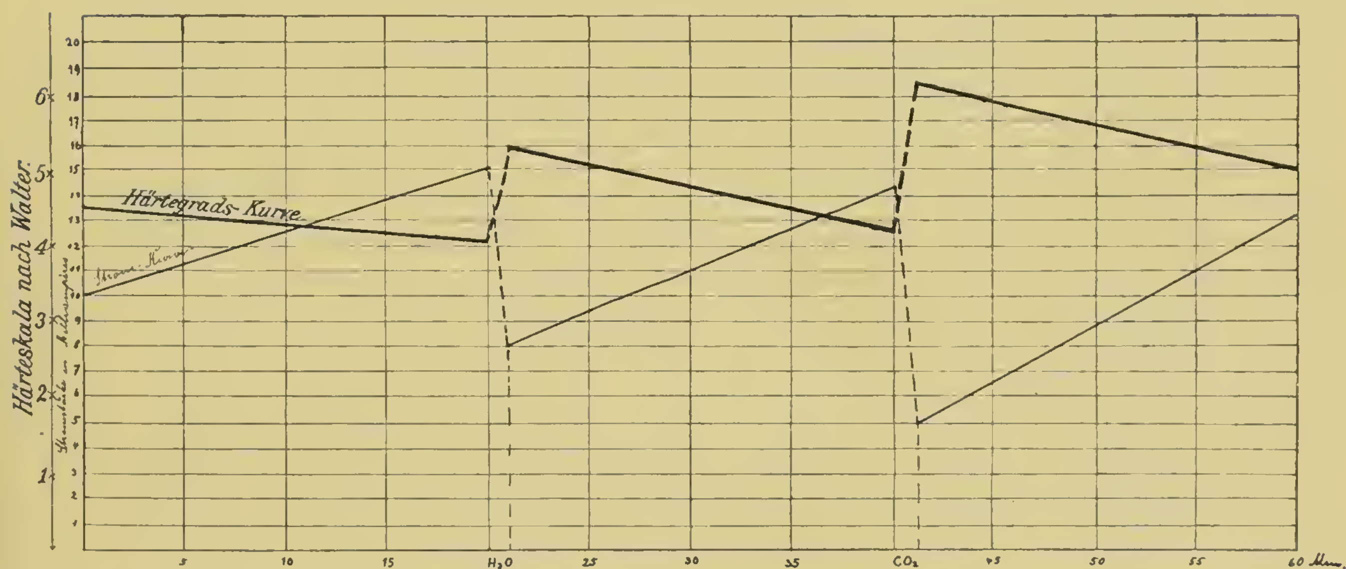


Fig. 62.

Strom und Härtegradskurve einer Müllerschen Wasserkühlröhre, während einer Stunde. Nach 20 Minuten Wasser gewechselt, nach 40 Minuten mit Kohlensäure gekühlt.

Bei dem Ankauf einer Wasserkühlröhre ist folgendes vom Lieferanten zu verlangen:

Ankauf von Wasserkühlröhren

1. Die neue Röhre soll weich sein. Anfangs ist dieselbe nur für Zähne, später für Hände, Füße u. dgl. zu brauchen. (W. 3—4.) Erst durch den Gebrauch soll sie allmählich härter werden, so daß sie alle Stadien von der Zahnröhre bis zur Beckenröhre durchläuft. Es ist unzweckmäßig, beim Fabrikanten z. B. eine „Becken-

röhre" zu bestellen, denn man verliert bei einer solchen, von Anfang an hochevakuierten Röhre, die verschiedenen Stadien der Weichheit, welche sie für Zahn-, Hand-, Fußaufnahmen u. dgl. qualifiziert. Die wahre Röhrenökonomie besteht in dem dauernden Besitz von mehreren Exemplaren, welche alle als weiche Röhren ihre Laufbahn beginnend, allmählich zur höheren Härte emporrücken. Sobald eine zu hart gewordene Röhre aus dem Betriebe ausscheidet, sollte man eine neue weiche in die Serie einstellen.

Die neue Röhre

2. Die neue Röhre soll auch bei Anwendung hoher Selbstinduktion regelmäßig und gleichmäßig, ohne erheblich auszusetzen, funktionieren. Ein geringes Aussetzen würde ich nicht für einen Fehler halten.

3. Die Halbteilung muß eine scharfe sein, Flecken- und Ringbildung dürfen nicht auftreten.

4. Das Geräusch muß ein gleichmäßig dumpfrollendes sein. Knistern darf eine neue Röhre nicht oder jedenfalls nur sehr wenig.

Neue Wasserkühlröhren machen bisweilen beim Einschalten den Eindruck als ob sie hart wären, d. h. sie knistern und paralleler Funkenüberschlag findet statt. Nach etwa einer halben Minute pflegt eine solche Röhre normal zu sein und ohne Nebengeräusche zu funktionieren, sie zeigt dann etwa 4 W. Nach $1^1/_2$ Minuten tritt ganz plötzlich wiederum Knistern und paralleler Funkenüberschlag für kurze Zeit ein, um dann einem weichen Stadium von etwa 3 W. Platz zu machen. Solche Röhren sind für die Arbeit sehr unbequem, da man sich auf ihre regelmäßige Funktion nicht verlassen kann.

Ist dieses Kathodenblech nicht völlig fest, so macht sich dieses dadurch bemerkbar, daß die Röhre ein singendes Geräusch, welches lange Zeit nach dem Ausschalten des Stromes bestehen bleibt, von sich gibt. Der Ton entsteht durch starkes Vibrieren des losen Antikathodenbleches. Gewöhnlich endet die Sache mit Abfallen des Bleches. Es handelt sich hier natürlich um einen Fabrikationsfehler.

Röhrenprotokoll

Es ist angezeigt, über jede Röhre und ihre Leistungen ein genaues Protokoll zu führen. Dasselbe muß folgende Punkte umfassen:

Zahl der Aufnahmen
„ „ Durchleuchtungen
„ „ therapeutischen Bestrahlungen
} Die Einzelexpositionen in Sekunden.

Notizen über Reevakuierungen usw.

Ich empfehle ein Buch nach folgendem Schema einzurichten: Röhren-protokollbuch

..........Röhre, Nr. des Fabrikanten..... Nr. des Krankenhauses..... Preis Mk.....

gekauft am.................... außer Betrieb am.................... wegen..........

Gesamtleistungen an:
- a) Aufnahmen.................. mit.......... Sek. Exposition
- b) Durchleuchtungen...... mit.......... „ „
- c) Bestrahlungen.............. mit.......... „ „

Summa: .... mit.......... Sek. Exposition

Besondere Bemerkungen:

	Aufnahme								Durchleuchtung					Therapie			
	A	A	A	A	A	A	A	A	D	D	D	D	D	T	T	T	T
Sa :																	

Auf Grund solcher genau geführter Protokolle wird man sehr bald zur kritischen Beurteilung der Röhren und ihrer Eigentümlichkeiten kommen. Das Röhrenstudium ist einer der interessantesten Teile der Röntgentechnik, da es dem aufmerksamen Beobachter immer neue Überraschungen und Probleme bietet.

Unregelmäßigkeiten im Betriebe der Röhren.

Unregelmäßigkeiten im Betriebe der Röhren

Wenn auch die Konstruktion der Wasserkühlröhren zurzeit so vollkommen ist, daß man jahrelang arbeiten kann, ohne nachteilige Erfahrungen zu machen, so halte ich es doch für angezeigt auf einige Vorkommnisse, welche den Anfänger in Verlegenheit bringen können, hinzuweisen. Es werden außerordentlich häufig Röhren an die Fabrik mit dem Bemerken, daß Konstruktionsfehler vorliegen, zurückgeschickt. Ich habe Gelegenheit gehabt solche Röhren nachzuprüfen und fand nicht selten so gute Exemplare unter den refüsierten, daß ich mir diese zum persönlichen Gebrauch angeschafft habe. Ebenso wie mit der Annahme eines Plattenfehlers, sollte man mit der Behauptung eines Röhrenkonstruktionsfehlers vorsichtig sein, denn in den allermeisten Fällen liegt die Schuld auf Seiten des nicht mit der nötigen Vorsicht verfahrenden Untersuchers.

Im folgenden mögen einige derartige Vorkommnisse Erwähnung finden:

1. Es kann passieren, daß die Ansatzstelle des die Kathode tragenden Metallstiftes defekt wird. Dieses macht sich dadurch

bemerkbar, daß sich Lichterscheinungen an der genannten Stelle bilden, welche sehr bald zum Zerspringen des Glasmantels, welcher den Stift der Kathode umgibt und damit zum Durchschlagen der Röhre führen. Das Auftreten dieser Lichterscheinungen muß als Warnung gelten, die Röhre nicht länger in Betrieb zu behalten. Die Ursache ist in den meisten Fällen ein Konstruktionsfehler.

Konstruktionsfehler der Röhren

2. wird bisweilen Glühen des Kathodenbleches beobachtet. Schon nach einer Exposition von 3 Minuten kann dieses Phänomen auftreten. Die Funktion der Röhren wird hierdurch im allgemeinen nicht gestört, indessen hat man darauf zu achten, daß die Röhre nicht überanstrengt wird, da sonst der die Kathode tragende Metallstift sich verbiegen kann.

3. Bisweilen treten an der Innenseite des Glasmantels, welcher das Antikathodengefäß umgibt, rötliche Lichterscheinungen auf. Die Ursache liegt an Überlastung der Röhre; Abhilfe wird am leichtesten durch Zurückgehen mit der Stromintensität oder durch Einschalten einer höheren Selbstinduktion geschaffen.

4. Wenn der Brennpunkt nahe dem Rande der Antikathode liegt, kann das Glas des Mantels weggeschmolzen werden, häufig bilden sich auch Sprünge an dieser Stelle des Glasmantels. Bei genauem Zusehen sieht man in der Röhre feine Glaspartikelchen umherliegen. Durch dieses Anschmelzen des Glases wird die Röhre vorzeitig hart. Es kann sogar soweit kommen, daß der Brennpunkt von der Antikathode abrückt. Solche Röhren sind selbstverständlich nicht mehr zu gebrauchen. In seltenen Fällen kommt es zur Absprengung eines ringförmigen Stückes vom Antikathodenmantel; hierdurch wird die Röhre nicht unbedingt gebrauchsunfähig. Man hilft sich dadurch, daß man das abgesprengte Stück in den die Anode oder die Kathode tragenden Röhrenhals hineingleiten läßt. Meist liegt in diesen Fällen ein Konstruktionsfehler vor.

5. Sollten Röhren plötzlich während einer Aufnahme im Vakuum heruntergehen, so kann man sich sehr leicht dadurch helfen, daß man eine höhere Selbstinduktion einschaltet, und auf diese Weise die begonnene Aufnahme zu Ende führt. Es wird jedoch wohl seltne über ein plötzliches Weichwerden im Betriebe zu klagen sein.

6. Kommt ein Versagen der Reguliervorrichtung vor, indem trotz intensiven Stromdurchganges das Marienglas kein Gas abgibt. Derartige Röhren, die unbedingt zu refüsieren sind, schlagen schon nach kurz dauernden Regulierversuchen am oder in der Nähe des Regulierapparates durch.

b) Röhren ohne Wasserkühlung.

Röhren ohne Wasserkühlung

Auch die billigeren Ausführungen der Müllerschen Röhren (Fig. 63) repräsentieren in ihrer Art sehr vollkommene Typen. Für geringe Beanspruchung, namentlich auch für therapeutische Bestrahlungen, kommen diese Röhren in Betracht, starke Belastungen, wie solche für schwierige Skelettaufnahmen erforderlich sind, vertragen sie nicht, dagegen sind sie für Zahnuntersuchungen wegen des Kontrastreichtums ihrer Strahlung sehr zu empfehlen.

Die einzelnen Teile dieser Typen sind aus der Zeichnung deutlich zu erkennen. Zu bemerken ist, daß bei ihnen wie bei sämtlichen Müllerschen Röhren die Antikathode mit einem Metallrande umgeben ist, wodurch eine vorzügliche Halbteilung der Röhre erreicht wird.

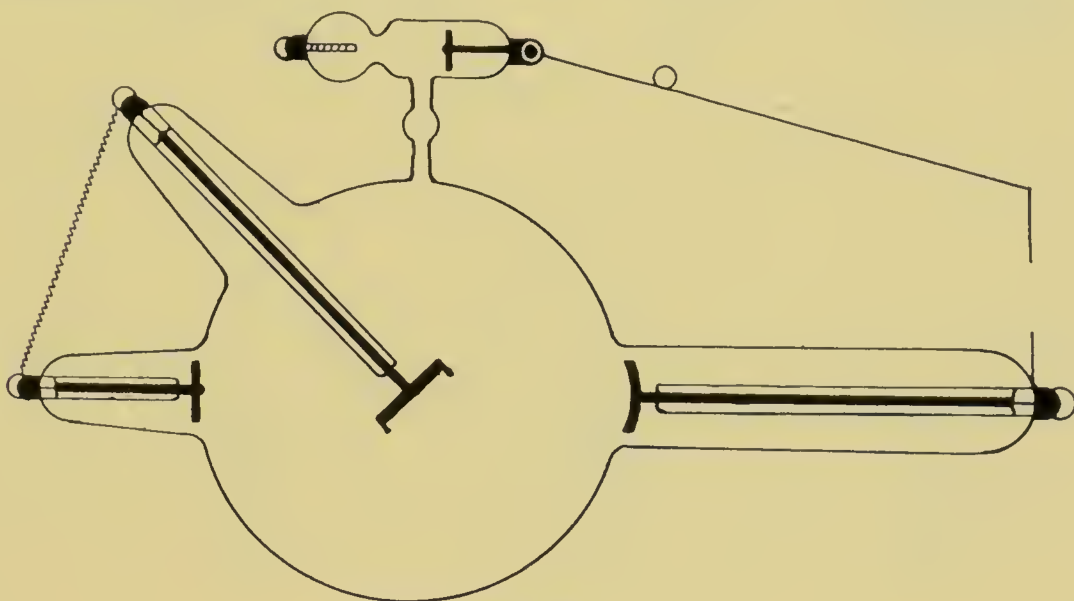


Fig. 63.

Verstärkte Antikathode

Zum Zwecke einer möglichst guten Ableitung der auf der Antikathode erzeugten Hitze werden von Müller Röhren hergestellt, welche als Antikathode einen dicken Metallklotz, auf welchem das Platinblech ruht, tragen (Fig. 64). Um ein ruhiges Licht zu erzielen und ein Zerstäuben dieses Metallklotzes möglichst zu vermeiden, ist die Antikathode mit einem Glasmantel umgeben.

Neuerdings hat sich eine besondere Röhre für die transportable Einrichtung bei mir gut eingeführt. Sie zeichnet sich dadurch aus, daß die Antikathode mit einem Metallrohre in Verbindung steht, welches die auf der Antikathode entwickelte Wärme ableitet und verteilt. Dieser Typ wird speziell für Momentaufnahmen mit einer durch eine Iridiumplatte verstärkten Antikathode ausgeführt, wodurch die Röhre ohne Schaden zu nehmen bis zu 60 Milliampère belastet werden kann, natürlich nur für die zur Herstellung von Momentaufnahmen notwendige Zeit von höchstens 3 Sekunden.

Ferner ist eine von allen abweichende Röhre unter dem Namen Zentralröhre (Fig. 65) in den Handel gebracht worden. Bei dieser Röhre ist die Antikathode nicht wie früher in einem Winkel von 45° zur Röhrenachse geneigt, sondern steht plan-

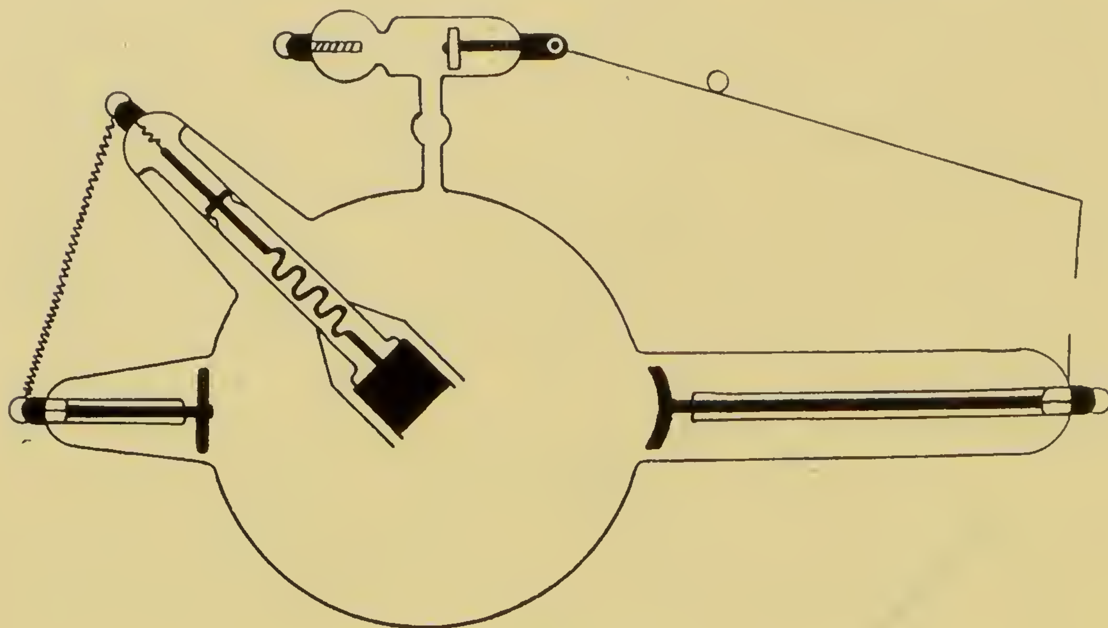


Fig. 64.

parallel zur Kathode, es fallen also auch von der Antikathode ausgehende Kathodenstrahlen niemals auf die Glaswand, was ihre Zerstörung zur Folge hat, sondern auf die Kathode zurück, und da die röntgenstrahlengebende Fläche symmetrisch zur Röhrenachse steht, treten die Strahlen nach allen Seiten der Röhre

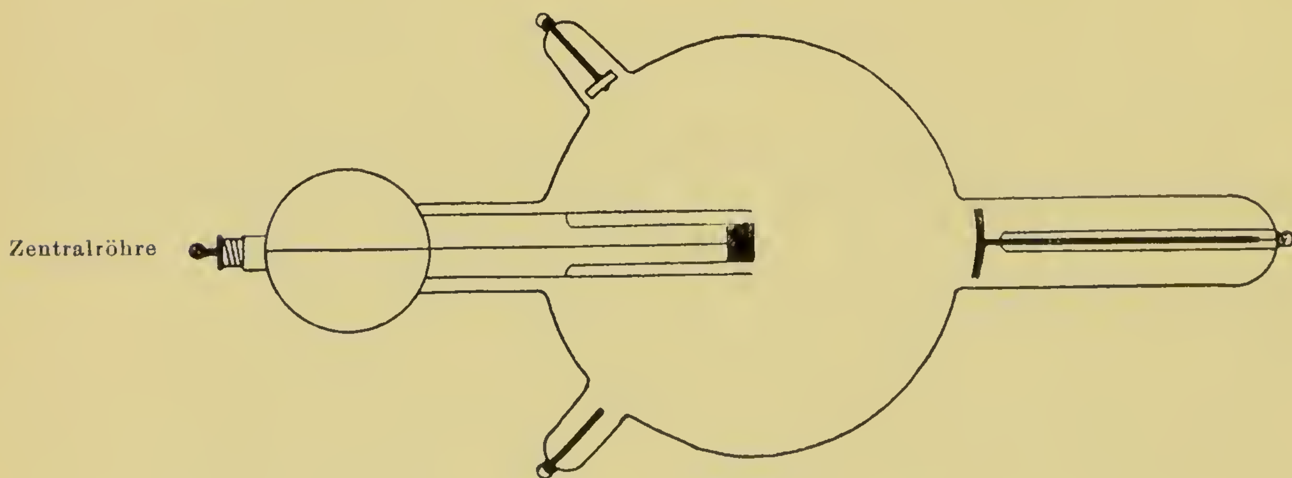


Fig. 65.

— gleichmäßige Wandstärke des Glases vorausgesetzt — in gleicher Intensität aus. Anode, Regulierung und Ansatz sind bei dieser Röhrenausführung um die Antikathode gruppiert, so daß der Kathodenhals vollständig frei bleibt und damit die Gefahr des Uberspringens von Funken außerhalb der selbst sehr harten Röhre beseitigt wird.

Auch die Müllerschen Ventilröhren sind zu erwähnen. Bei den bisher gebräuchlichen Ventilröhren war der Anodenhals sehr eng zusammengezogen, wodurch leicht ein Durchschlagen und infolgedessen Abbrechen des Halses vorkam. Diese Fehler sind bei den neuen Exemplaren durch veränderte Konstruktion vermieden worden (Fig. 66). Eine Kombination von mehreren Ventilröhren Ventilröhren (Müller)

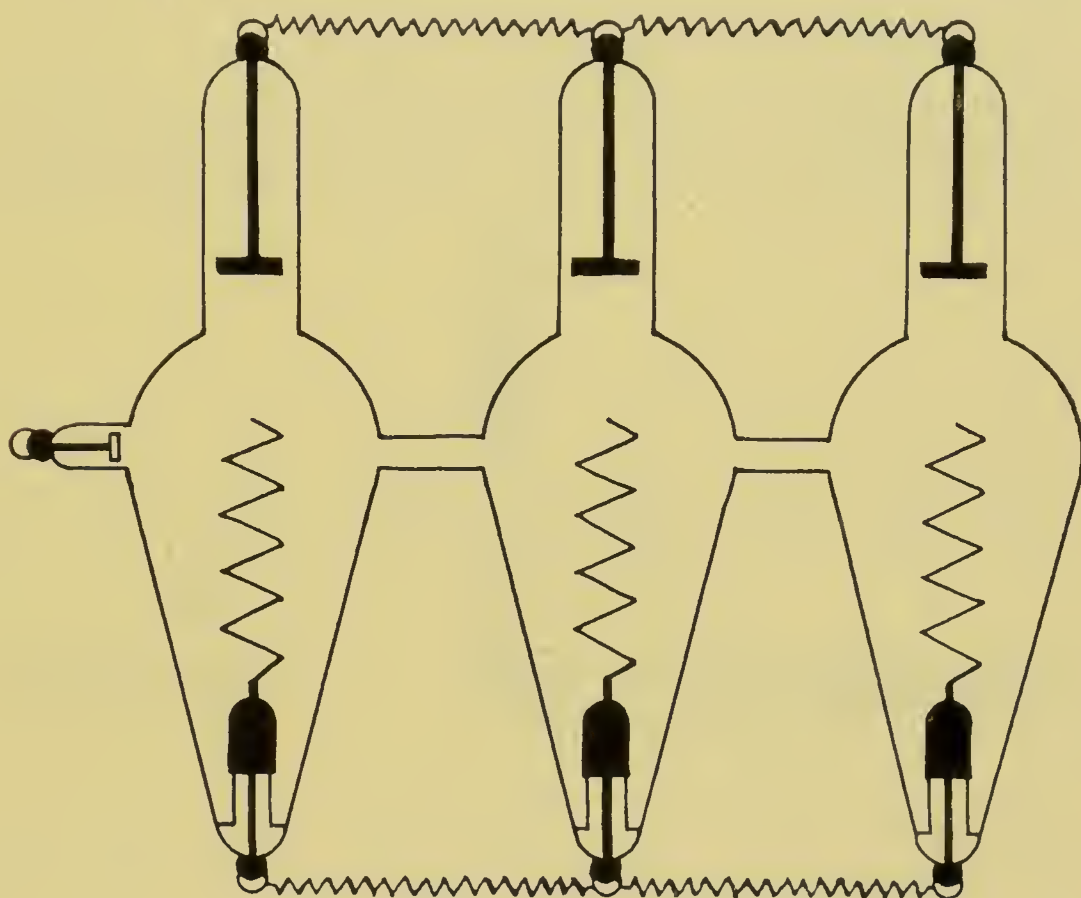


Fig. 66.

ist empfehlenswert. Die Röhre ist aus dem Bedürfnis mit sehr hohen sekundären Stromstärken zu arbeiten, entstanden. Es wurde daher ein Parallelschalten mehrerer Röhren erforderlich, wobei es fast unmöglich war, alle gleichmäßig auf denselben Härtegrad zu erhalten. Diese Schwierigkeit ist durch die Neukonstruktion der mehrteiligen Ventilröhre beseitigt, denn alle Röhren, miteinander verbunden, besitzen das gleiche Vakuum, welches durch eine gemeinsame Regulierung auch gleichmäßig herabgesetzt werden kann.

2. *Röhren von Koch und Sterzel (Dresden).*

Die Bikathodenröhre.

Die Bikathodenröhre wird von den Firmen Emil Gundelach und C. H. F. Müller hergestellt. Sie ist nach Angabe der Konstrukteure eine Röntgenröhre mit ausgeprägtem Ventilcharakter und eignet sich besonders zum Anschluß an Induktoren, welche neben der ge- Bikathodenröhre (Koch und Sterzel)

nügenden sekundären Schlagweite auch eine hohe Sekundärstromstärke liefern (Fig. 67). Im Anschluß an derartige Induktoren bleibt die Antikathode der Bikathodenröhre unangeschlossen. Es wird lediglich die Kathode und die Anode mit dem Induktor verbunden. Bei einer solchen Anwendung der Bikathodenröhre ist die Vorschaltung einer Funkenstrecke oder sonst einer Ventileinrichtung unter allen Umständen entbehrlich. Der von der Antikathode ausgehende metallische Trichter ist der Anode so nahe geführt, daß er in das Anodengefälle hineinragt und demgemäß die Antikathode stets positives Potential erhält. (S. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, Bd. VIII.*) Der Trichter ist der Anode so gegenübergestellt,

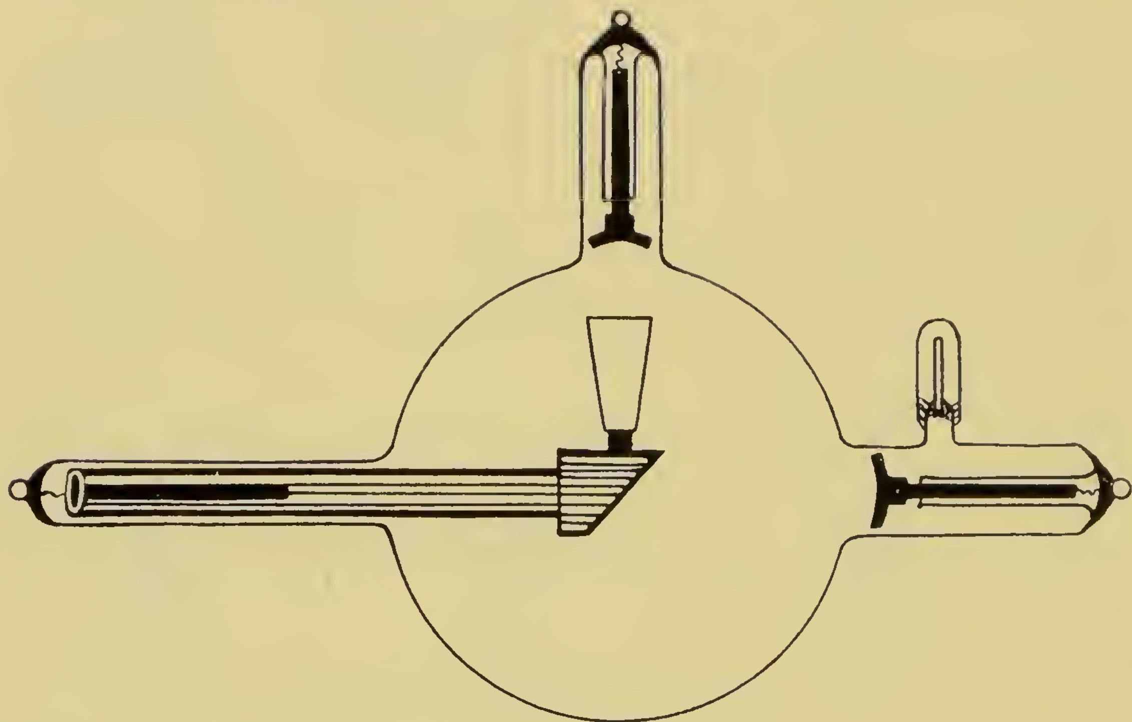


Fig. 67.

daß das von der hohlspiegelförmig ausgebildeten Anode bei verkehrter Stromrichtung erzeugte Kathodenstrahlenbündel in das Innere des Trichters gerichtet ist. Durch Reflektion der Kathodenstrahlen wird in bekannter Weise das Kathodengefälle für die verkehrte Stromrichtung so sehr erhöht, daß der verkehrt gerichtete Strom eher die Glaswand durchbohrt, als seinen Weg durch das Innere der Röntgenröhre nimmt.

Der Ventilcharakter der Bikathodenröhre ist so stark ausgeprägt, daß selbst bei kürzesten Momentaufnahmen und höchster Unterbrechungszahl (Wehneltunterbrecher) keine Spur von Schliessungsströmen nachgewiesen werden kann. · Da in der Bikathodenröhre die aktiven Elektroden aus Aluminium sind, so ist die Lebensdauer der Bikathodenröhre eine hohe. Die Röhre gehört zu den sogenannten metallreichen Röntgenröhren, welche eine ausgiebige Selbstregenerierung besitzen.

Die Ventilröhre von Koch und Sterzel

Ventilröhren (Koch und Sterzel)

wird hergestellt von Emil Gundelach in Gehlberg. Ihre Wirkung beruht auf demselben Prinzip, wie die Ventilwirkung der Bikathodenröhre (Fig. 68). Sie wird mit 17 und 25 cm Kugeldurch-

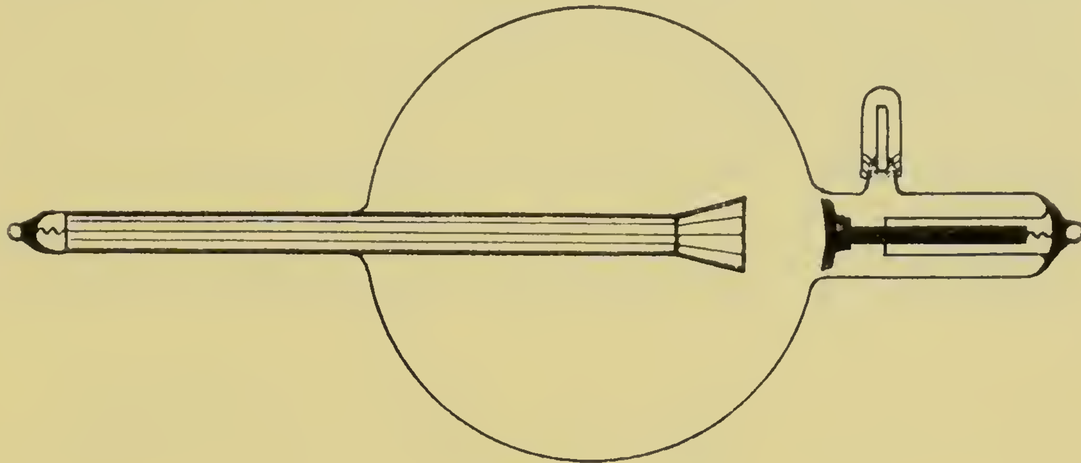


Fig. 68.

messer ausgeführt, zeichnet sich durch hohe Lebensdauer aus und erwärmt sich selbst beim Hindurchgehen starker Ströme nicht merkbar. Sie ist mit Osmo-Regeneriervorrichtung versehen.

3. *Röhren von Dr. Max Levy (Berlin).*

Die Kontraströhre.

Kontraströhre (Dr. Levy)

Die Kontraströhre (Fig. 69) ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß die eigentliche Antikathode aus einem metallischen und einem nichtmetallischen isolierenden Material zusammengesetzt ist.

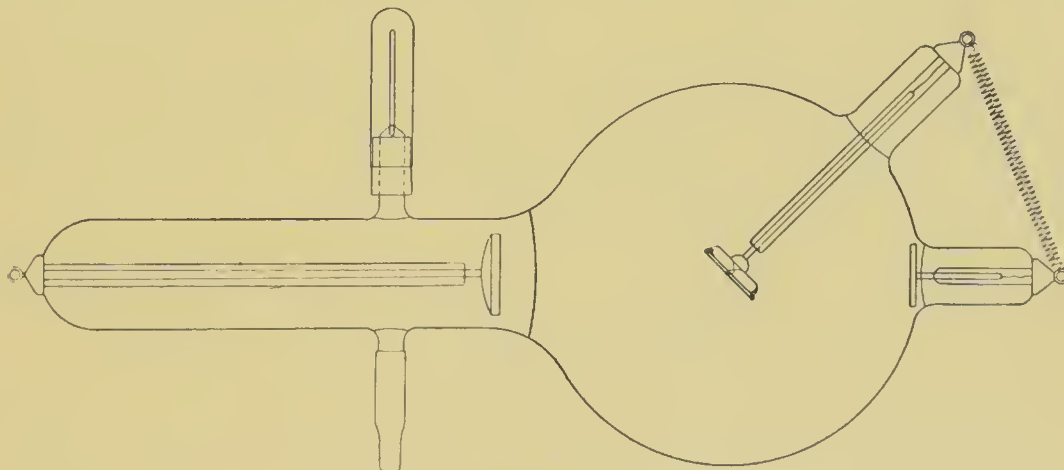


Fig. 69.

Letzteres hat zweierlei Bestimmung. Es hält zunächst auf dem Antikathodenblech die dort entstehende Wärme zurück, so daß der Spiegel ins Glühen kommt, in welchem Zustande die Röntgenröhren die kontrastreichste und zugleich durchdringendste Strahlung

abgeben. Diese Beanspruchung stieß früher auf Schwierigkeiten, da die Erhitzung der Antikathode sich den hinter derselben belegenen Metallteilen mitteilte und aus diesen die bei der Evakuierung nicht entfernten Gase ausschied. Das Isoliermaterial, welches sehr hohe Temperaturen auszuhalten in der Lage ist, gibt diese Gase in weit geringerem Maße ab, so daß die Belastung bei der Kontraströhre bis zur Rotglut zulässig ist. Ein weiterer Zweck des Isoliermaterials ist der, einen großen Teil der auf der Antikathode entwickelten Energiemenge dank seiner hohen Wärmekapazität in sich aufzunehmen.

Die Kontraströhren werden ohne und mit Wasserkühlung hergestellt. Bei der letzten Konstruktion (Fig. 70) erfüllt das Isolier-

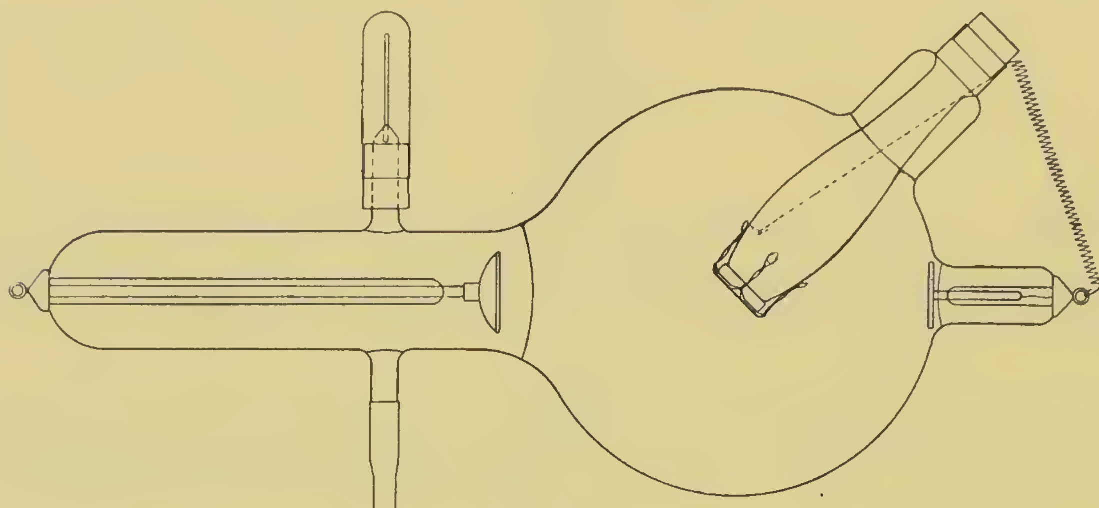


Fig. 70.

material den weiteren Zweck der langsamen Übertragung der Wärme zu dem Wassergefäß. Ein Springen des Glases ist also ausgeschlossen und die Kontraströhre mit Wasserkühlung ebenso betriebssicher wie gewöhnliche Röntgenröhren. Dank der großen Wärmeabsorption durch das Isoliermaterial und dem großen Wassergefäß ist es weder erforderlich, fließendes Wasser anzuwenden, noch überhaupt eine Auswechselung des Wassers vorzunehmen. Die einmalige Wasserfüllung gehört gleichsam konstruktiv zur Röhre.

4. Röhren von Reiniger, Gebbert und Schall (Erlangen) (vormals Hirschmann, Berlin).

Röhren (Reiniger, Gebbert und Schall)

Diese geradezu genial konstruierte Röntgenröhre (Fig. 71) besteht aus den üblichen Elektroden und der Antikathode 1. Letztere wird, je nach der Größe und Form der Röntgenröhre, verschieden stark gearbeitet und bei den größeren Formen derartig angeordnet, daß sie eine günstige Abkühlung möglich macht. Neben diesen Elektroden sind die Hilfselektroden 7 und 8 angebracht, von denen die Elektrode 7 in einem besonderen kugelförmigen Ansatz ange-

ordnet ist, dessen Innenraum in direkter Verbindung mit der Kugel der Röntgenröhre steht. Die Verbindung der Elektrode mit der Antikathode 1 und Hilfsanode 2 wird durch einen Hebel 4 erzielt. Außerdem befindet sich in der Elektrode 7 die Stromzuleitungsstelle 6. Die Hilfselektrode 8 ist in der Nähe der Kathode angebracht. Ein doppelarmiger Hebel 10, 11 und die Stromzuleitungsöse 13 werden durch einen, von beiden Elektroden isolierten Halter getragen. Bei der Benutzung der Röntgenröhre verbindet der Hebel 4 sämtliche an der Anode liegende Elektroden, während der Hebel 10 von der Zuleitung 13 aus den Strom zur Kathode führt. Beide Hebel 4 und 10 werden durch eine Spiralfeder so gehalten,

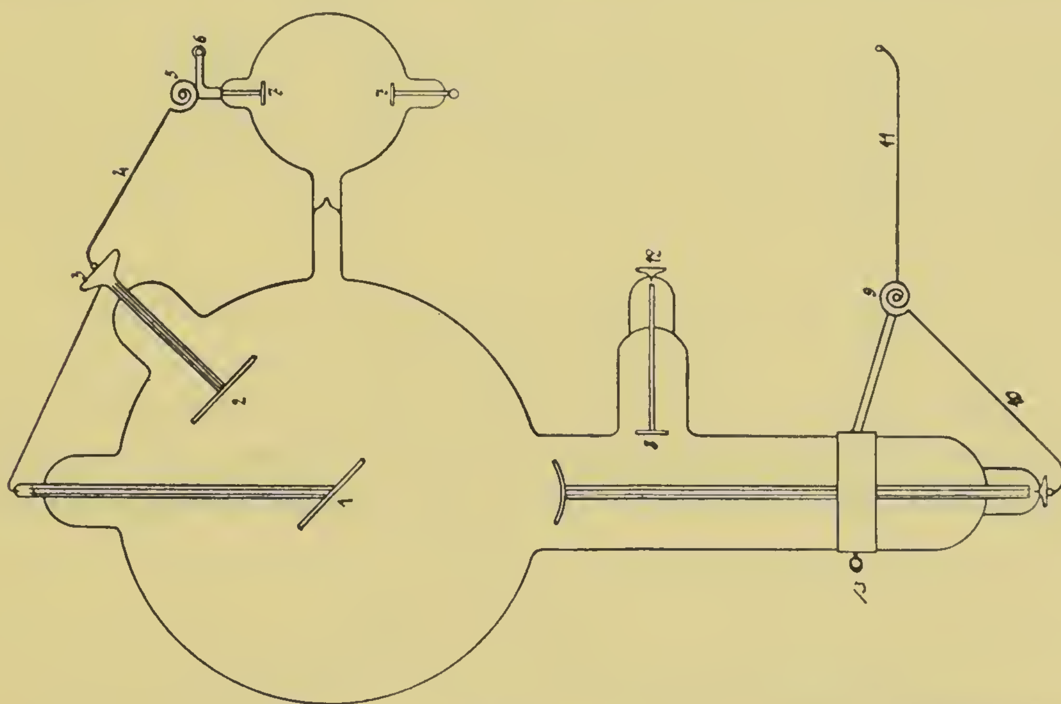


Fig. 71.

daß sie ihre beschriebene Stellung selbsttätig nicht verändern können. Soll das Vakuum der Röntgenröhre während des Arbeitens beeinflußt werden, so geschieht das, im Sinne die Röhre weicher zu machen, durch Umlegen des Hebels 10 nach der Hilfskathode 8. Mittels eines isolierenden Stabes wird der Hebel 11 durch Anheben des Hebels 10 so weit gedreht, bis er die Platte 12 und so mitleidend die Hilfskathode 8 berührt. Es scheidet sich durch diese Änderung in der Verbindung, indem jetzt die Kathode nur mit der Hilfselektrode 8 verbunden ist, ein geringes Luftquantum ab, wodurch das Vakuum herabgesetzt wird, wozu einige Sekunden genügen. Um die Röhre härter zu machen, wird der Hebel 4 von seiner Auflagefläche 3 entfernt, dadurch ist die Leitung zur Antikathode 1 unterbrochen und der Strom findet seinen Weg nur durch die Hilfselektrode 7 zur Kathode. Bei dieser Stromunterbrechung wird in wenigen Augen-

blicken das Vakuum erhöht. Die Hebel 10 und 4 fallen sofort in ihre normale Stellung zurück, wenn der sie anhebende isolierende Stab zurückgezogen wird. Es wird demnach bei der Änderung des Vakuums, mittels leicht beweglicher Hebel, der Stromweg innerhalb der Röntgenröhre verändert, ohne daß dabei die Hauptzuleitung von der Röhre entfernt, oder umgelegt werden müßte. Die Manipulation ist sehr einfach und während jeder Aufnahme und auch während jeder Durchleuchtung vorzunehmen. — Die früher von Hirschmann gebrauchte Methode, das Vakuum dadurch zu regulieren, daß ein Ventil geöffnet wurde, ist durch die Möglichkeit Substanzen zu schaffen, die unter Einwirkung der Kathode Luft abschneiden, überflüssig geworden. Andererseits ist die Benutzung des Ventils in vielen Fällen schwierig gewesen, weil die Art der Öffnung von geringerer oder größerer Geschicklichkeit abhängig war und es leicht vorkommen konnte, daß durch zu langsames Bewegen des Ventilverschlusses, die zugeführte Luftmenge eine zu große wurde.

5. *Röhren von Dr. Rosenthal (München) [Polyphos].*

a) Platineisenröhre.

Polyphos-Röhren

Die von Dr. Rosenthal, dem wissenschaftlichen Beirat der Polyphosgesellschaft München, angegebene Platineisenröhre (siehe Fig. 72) unterscheidet sich von anderen Röhrenkonstruktionen da-

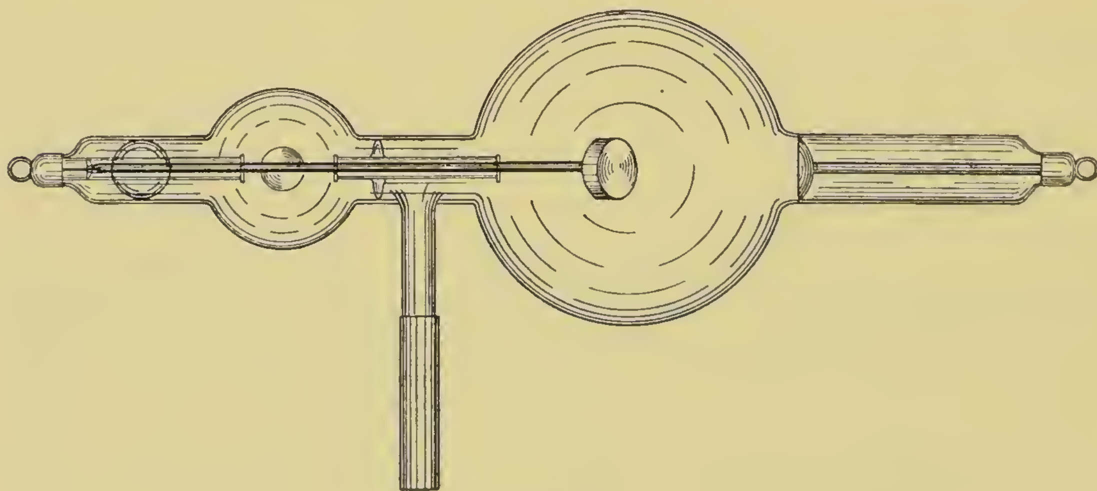


Fig. 72.

durch, daß die Antikathode *A* aus einem massiven Eisenklotz besteht, der an der Auftreffstelle der Kathodenstrahlen mit Platin überzogen ist. Infolge der bedeutenden Masse der Antikathode kann diese Röhre bei nicht allzuschnellen Unterbrechungen mit sehr starken Strömen lange Zeit eingeschaltet werden, ohne daß sich ihr Vakuum wesentlich ändert. Die Doppelkugel I und II, wie sie die von Rosenthal früher angegebenen Alpha-, Beta-, Gamma- (siehe

Fig. 73) und Epsilonröhren besitzen, ist auch bei der Platineisenröhre beibehalten und trägt gleichfalls zur Konstanterhaltung des Vakuums der Röhre bei.

Das bei *G* einzuhängende Kabel führt zum negativen, das bei *J* einzuhängende zum positiven Pol.

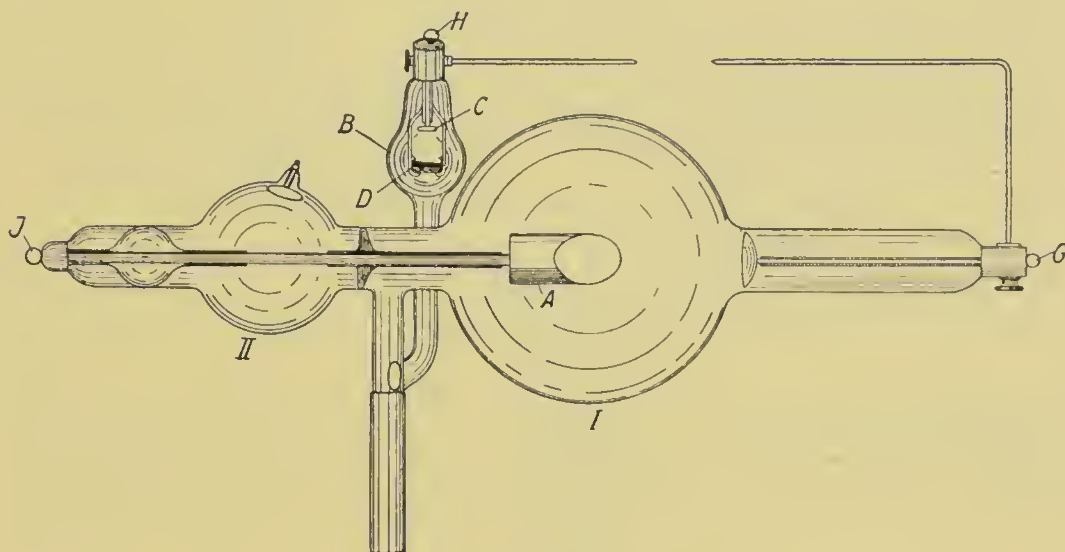


Fig. 73.

Zur Regulierung des Vakuums ist ein Ansatz *B* mit Hilfskathode *C* und Hilfsantikathode *D* vorgesehen. Ist das Vakuum der Röhre zu hoch, so springen zwischen den auf eine bestimmte Entfernung einstellbaren Spitzen Funken über, welche automatisch solange aus der Reguliervorrichtung Luft austreiben, bis das gewünschte Vakuum wieder erreicht ist. Sollte dieses Funkenüberspringen längere Zeit dauern, so kann man durch Umhängen des Kabels von *G* nach *H* die Regulierung beschleunigen.

b) Polyphosspezialröhre.

Die von Dr. Rosenthal angegebene Polyphosspezialröhre soll für besondere Zwecke Anwendung finden. Sie dient einerseits zur Einführung in Körperhöhlen z. B. bei Bestrahlung des Rachens, des Uterus usw., andererseits auch für photographische Aufnahmen kleiner Flächen, wenn man Röntgenstrahlen verwenden will, die möglichst wenig durch die Glaswand absorbiert worden sind. Letzteres wird bei der Spezial-Röntgenröhre dadurch erreicht, daß die Stelle der Glaswand, durch welche die Röntgenstrahlen austreten, aus viel dünnerem Glase besteht, als bei den gewöhnlich verwendeten Röntgenröhren. Wie aus der Fig. 74 ersichtlich, ist an der Glaskugel *A* ein röhrenförmiger Ansatz *B* angeblasen, in welchem sich ein Metallzylinder befindet, der nur ein beschränktes Strahlenbüschel austreten läßt. Das Ende des Glasrohres ist durch eine möglichst dünne Glashaube abgeschlossen.

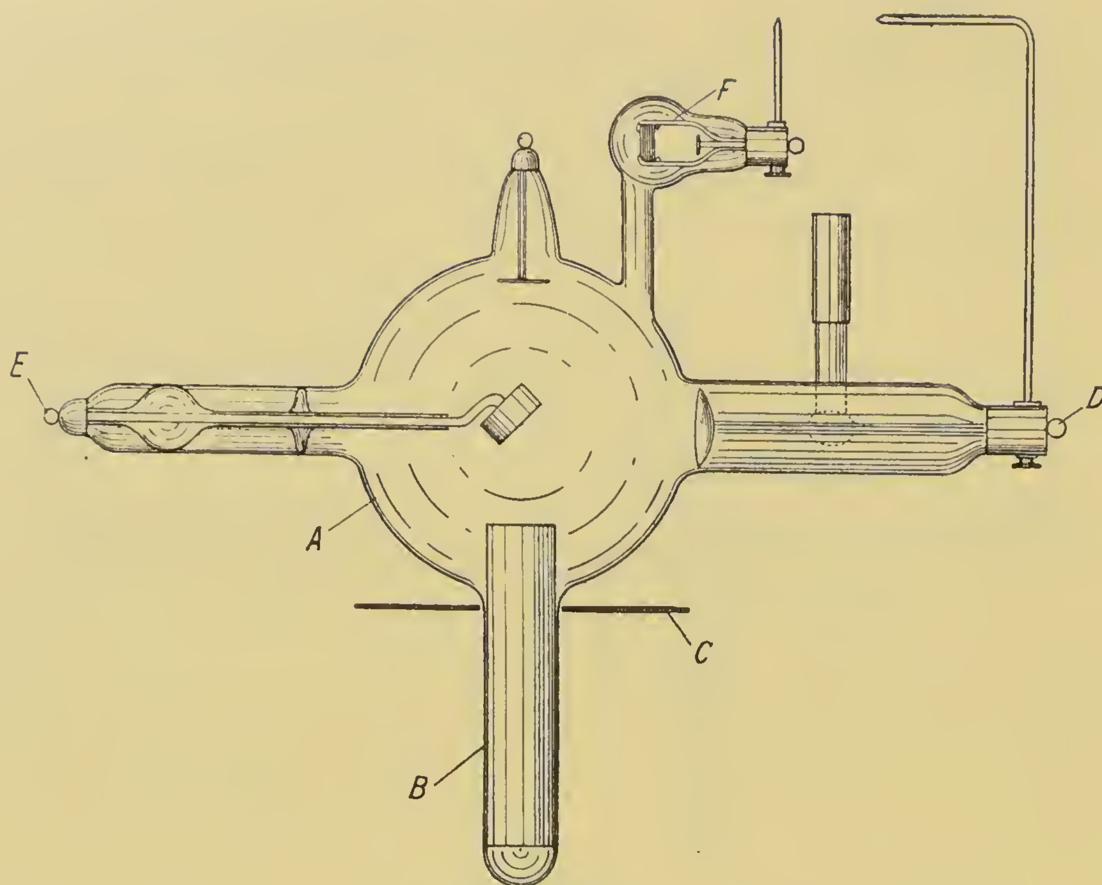
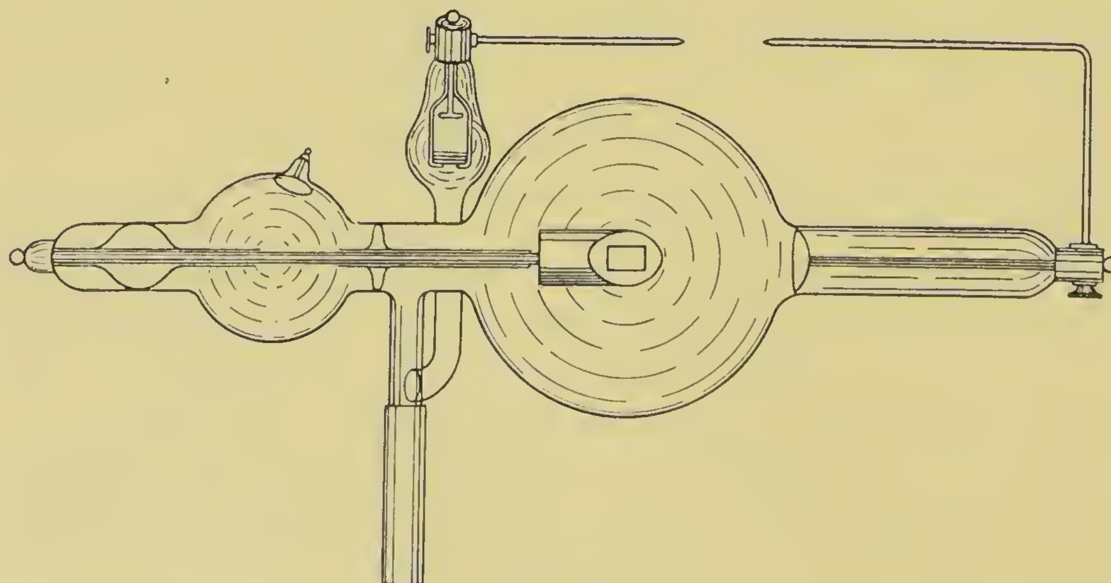


Fig. 74.

Damit die seitlich vom Metallzylinder auftreffenden Röntgenstrahlen unwirksam werden, kann, wie dieses in der Figur angedeutet, der röhrenförmige Ansatz mit einer Bleischeibe *C* versehen werden, oder auch mit einer der bekannten Bleiglasschutzhauben. Diese Röhre besitzt gleichfalls die bereits bei der Platineisenröhre beschriebene Reguliervorrichtung *F*. — Der Anschluß des negativen Pols erfolgt bei *D*, der des positiven bei *E*.

c) Iridiumröhre (Fig. 75).

Diese nach Angabe von Dr. Rosenthal hergestellte Röhre unterscheidet sich von der vorstehend beschriebenen Platineisenröhre


Fig. 75.

dadurch, daß statt des Platinbleches eine massive Platte aus Iridium verwendet wird. Infolge des höheren Schmelzpunktes des Iridiums[1]) wird erreicht, daß man intensivere Kathodenstrahlen auf eine sehr kleine Fläche konzentrieren kann, wodurch besonders scharfe Bilder erzielt werden. Da die Röntgenstrahlenemission um so größer ist, je höher das Atomgewicht der Antikathode, und Iridium ungefähr das gleiche Atomgewicht besitzt, wie Platin, so ist die Iridiumröhre für sehr scharfe Aufnahmen besonders gut geeignet.

Eine spezielle Ausführungsform der Iridiumröhre ist die

d) Präzisionsröhre nach Dr. Rosenthal,

bei welcher der Auftreffpunkt der Kathodenstrahlen ganz besonders klein ist, und die daher für allerschärfste Röntgenaufnahmen wertvoll ist.

Für sehr kurzdauernde Röntgenaufnahmen, bei welchen es auf größte Schärfe der Röntgenogramme nicht ankommt, fertigt die Polyphosgesellschaft nach Angabe Dr. Rosenthals endlich noch die

e) Intensitätsröhre,

welche für stärkste Ströme bei relativ langer Expositionszeit bestimmt ist.

6. Röhren von Emil Gundelach (Gehlberg).

Die Gundelach'schen Röhren haben unzweifelhaft in Deutschland die größte Verbreitung gefunden, und mit Recht, denn jedes aus dieser Fabrik hervorgehende Exemplar ist als ein Meisterstück der Technik zu bezeichnen. Röhren (Gundelach)

a) Die einfachen Typen (Fig. 76)

sind bis auf einige Kleinigkeiten dieselben geblieben wie früher. Die inzwischen eingeführte Abänderung bezieht sich darauf, daß

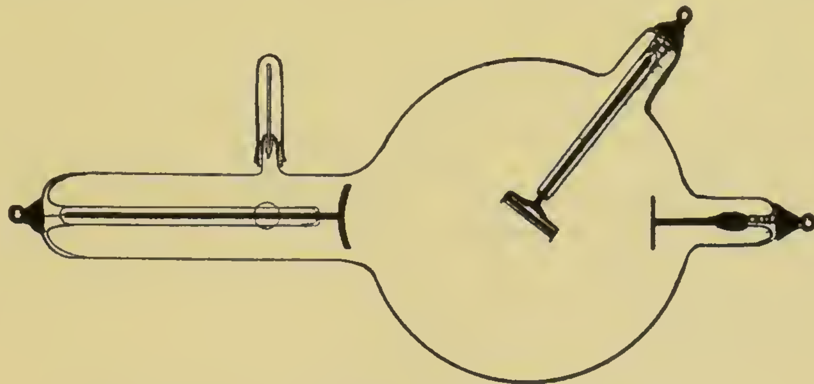


Fig. 76.

[1]) Platin schmilzt bei ca. 1800°, Iridium bei ca. 2500°. Platin und Iridium, Schmelzpunkte

der Nickelteller außer dem Platinspiegel, welcher als reflektierende Fläche oben aufliegt, auch noch eine starke Nickelplatte als Unterlage erhält. Diese nimmt noch eine beträchtliche Wärmemenge auf, so daß also die gewöhnlichen Röhren immerhin eine etwas größere Belastung vertragen, als dies früher der Fall war.

b) Die Patentröhre und Patentdauerröhre.

Die seit langem allgemein bekannte und bewährte Patentröhre ist in den letzten Jahren wenig geändert worden. Es würde nur anzuführen sein, daß die Antikathode neuerdings mit Glaszylinder umgeben

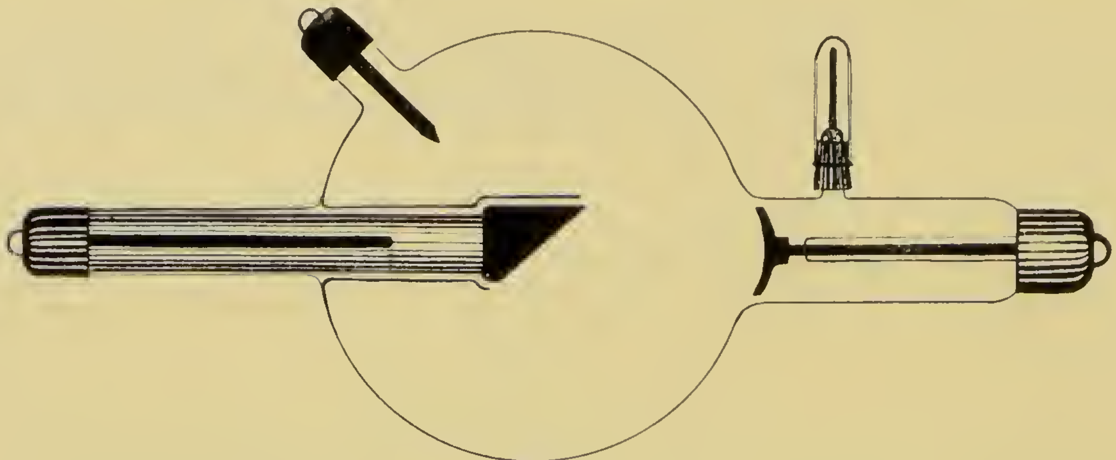


Fig. 77.

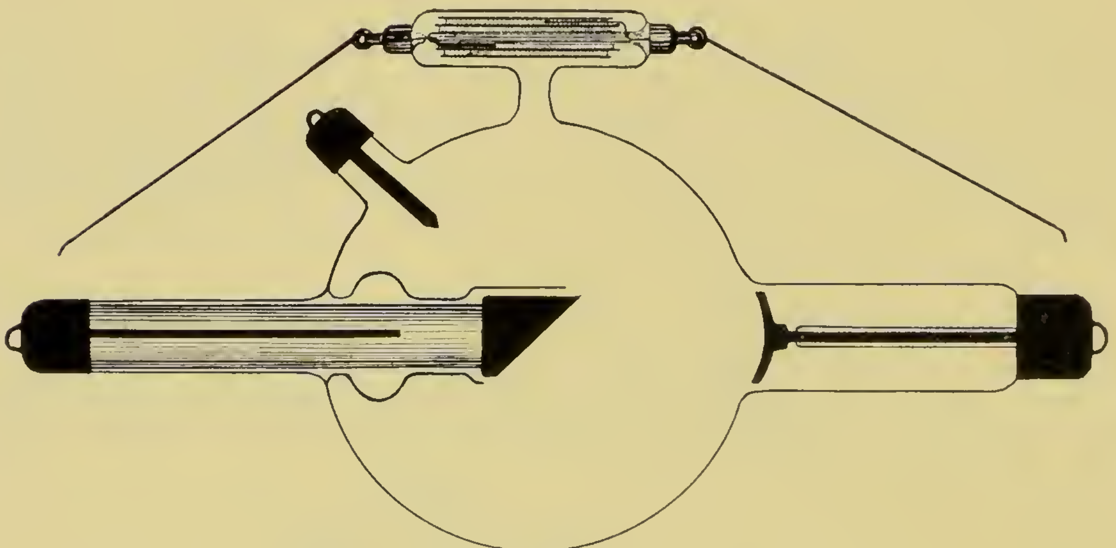


Fig. 78.

wird. Die Emaillierung der Eisenelektroden ist dadurch unnötig geworden (Fig. 77). Die Patentdauerröhren (Fig. 77 u. 78) haben an dem Glaszylinder noch einen Kropf bekommen, welcher durch seine Schattenwirkung die Einschmelzstelle des Halses vor schädlicher Erwärmung schützt.

c) Die Intensivstromröhre (Fig. 79).

Die Antikathode besteht aus einem Metallrohr, welches einerseits die Antikathodenplatte trägt und anderseits mit dem nach

außen offenen Ende im Glas eingeschmolzen ist (Fig. 79). Auf der Rückseite der Antikathode ist ein starker Metallstab hart angelötet, der ins Freie hinausragt und dort einen Rippenkühlkörper trägt.

Die der Antikathode von den Kathodenstrahlen zugeführte Wärme wird durch den ca. 10 mm starken Metallstab abgeleitet. Die Abkühlung, welche derselbe an der äußeren Luft hauptsächlich vermittels des Rippenkörpers erfährt, hält der immer neu zugeführten Wärme je nach Belastung bei etwa 200° C das Gleichgewicht. Die Antikathode wird also niemals zum Glühen kommen.

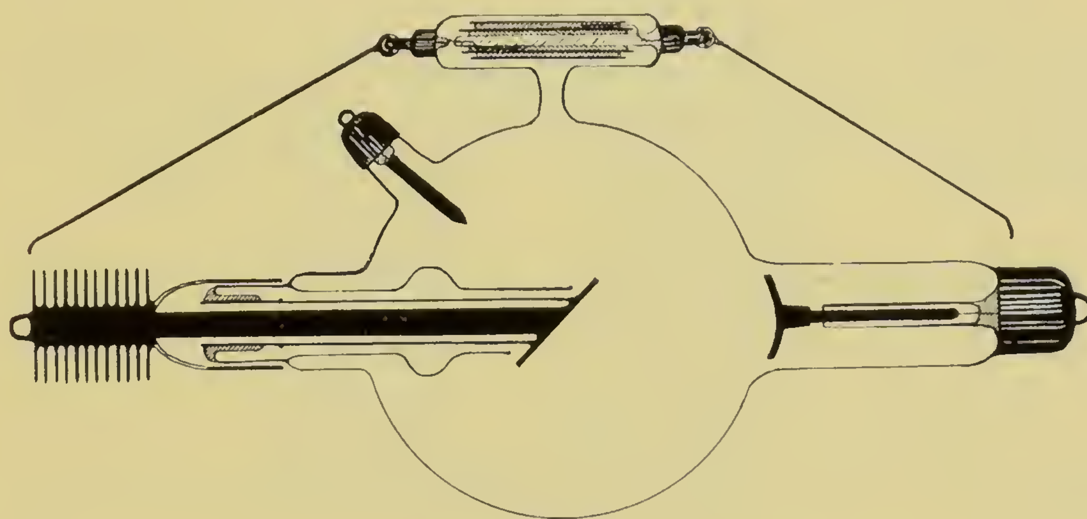


Fig. 79.

Während bei den bisher bekannten Röntgenröhren die gesamte Metallmasse der Antikathode sich innerhalb der luftleeren Kugel befand und nur eine indirekte Berührung mit der atmosphärischen Luft unter Vermittlung der Glaswand stattfinden konnte, wird hier die Innenwand des Metallrohres sowie der Metallstab mit Rippenkörper direkt von der Außenluft umspült und gekühlt.

Die Röhren 200 mm Durchmesser sind in jeder beliebigen Stellung verwendbar.

Für Momentaufnahmen werden die Intensivstromröhre und die Patentdauerröhre mit Erfolg benutzt. Letztere ist, um der gewaltigen Erwärmung der starken Ströme Widerstand leisten zu können, mit extra starken Platinbelägen versehen.

Gundelach legt besondern Wert bei Momentaufnahmen auf folgende Vorschrift:

Vorschriften für Momentröhren

„Es ist darauf zu achten, daß Patentröhren und namentlich solche für Momentaufnahmen nur mit dem Kathodenhals eingespannt werden. Beim Einspannen am Antikathodenhals werden die Röhren dort vom Funken leicht durchbohrt. Das tritt auch ein, wenn der Kathodenhals und der Antikathodenhals zu gleicher Zeit eingespannt sind, oder auch schon dann, wenn beide Hälse auf dem Gestell oder einem Holzkasten aufliegen.

Ein derartiges Gestell oder Holzkasten erleichtert das Überschlagen des Nebenschlußfunkens, und nur dann darf man eine Röntgenröhre so darin unterbringen, wenn das Gestell oder der Kasten aus gut isolierendem Material hergestellt ist.

Bei sehr starken Beanspruchungen, wie sie die Momentaufnahmen erfordern, werden die Röhren schneller hart, als bei normaler Beanspruchung. Es ist dann erforderlich, daß vor einer abermaligen Benutzung mit starkem Strom die Röhre erst auf ihren Härtegrad mit schwächerem Strom geprüft und nötigenfalls mit der Regeneriervorrichtung in weicheren Zustand versetzt wird, damit nicht vom ersten kräftig überschlagenden Nebenschlußfunken die Glaswand durchbohrt wird."

Die Ventilröhre, sowie die gewöhnliche Patenteisenröhre zeigen die bekannte Osmo-Regenerierung, während die Patentdauerröhre (Fig. 78) und die Intensivstromröhre (Fig. 79) die neue Regeneriervorrichtung trägt, von welcher die Fabrik die folgende Beschreibung gibt:

Kondensator Regenerierung

„Zur Verwendung kommt ein kleiner Kondensator, bestehend aus durchschlagsicherem Glaszylinder, welcher beiderseits mit einer starken Schicht eines Halbleiters belegt und durch ein besonderes Verfahren sehr aufnahmefähig für Gase gemacht worden ist. Die obere Belegung ist dann noch mit einem zweiten Glaszylinder bedeckt.

Ist das Röntgenrohr zu hart, oder mit anderen Worten: ist der Luftinhalt des Röntgenrohres zu gering geworden, so legt man den einen Drahtbügel *b* an die Antikathodenkappe *d*. Den anderen Drahtbügel *a* stellt man so weit von der Kathodenkappe *c* entfernt, daß ein Nebenschlußfunke entstehen muß, welcher etwa halb so lang ist als der Nebenschlußfunke, den die Röntgenröhre nach der Regenerierung besitzen soll. Es wird nun bei Einschaltung der Röntgenröhre in den Stromkreis der größte Teil des Stromes durch den Kondensator gehen, weil ja die Röntgenröhre einen höheren Widerstand hat, wobei etwas Gas aus den Belegen ausgetrieben wird. Ist das Vakuum der Röntgenröhre bis auf den gewünschten niedrigen Grad gebracht worden, so schlägt man beide Drahtbügel zurück. Bei der Beurteilung des Vakuums kann der Nebenschlußfunke, welcher zwischen dem Bügel des Kondensators und der Antikathodenkappe überspringt, nicht als Maßstab dienen, denn die Länge dieses Funkens muß naturgemäß bedeutend kürzer sein, als die eigentliche Nebenschlußfunkenstrecke des Röntgenrohres selbst, weil der Kondensator einen ziemlich hohen Widerstand hat.

Diese Regeneriervorrichtung arbeitet ganz unabhängig vom jeweiligen Vakuum des Röntgenrohres und wirkt also auch dann mit Sicherheit, wenn bereits wegen zu großer Härte kein Strom durch das Röntgenrohr mehr hindurchgeht.

Die Anwendung zweier gasabscheidender Schichten, welche durch Glas voneinander getrennt sind, hat den großen Vorzug, daß die Gasabgabe gleichmäßig aus allen Teilen der Schichten stattfindet, so daß auch wirklich die ganze okkludierte Gasmenge, welche sehr beträchtlich ist, nach und nach nutzbar gemacht werden kann."

d) Die Ventil- oder Drosselröhre.

Hittorf hat nachgewiesen, daß die statische Ladung einer Glaswand die Entladung vollständig verhindern kann, wenn die

Glaswand sich nahe genug an der Metallelektrode befindet. Die einfachste Form der Ventilröhren, welche früher angegeben worden ist, bestand aus einer Kugel mit Hals und zwei drahtförmigen Elektroden, von denen die eine im Hals, die andere in der Kugel angeordnet war. Während der hochgespannte Strom eines In-

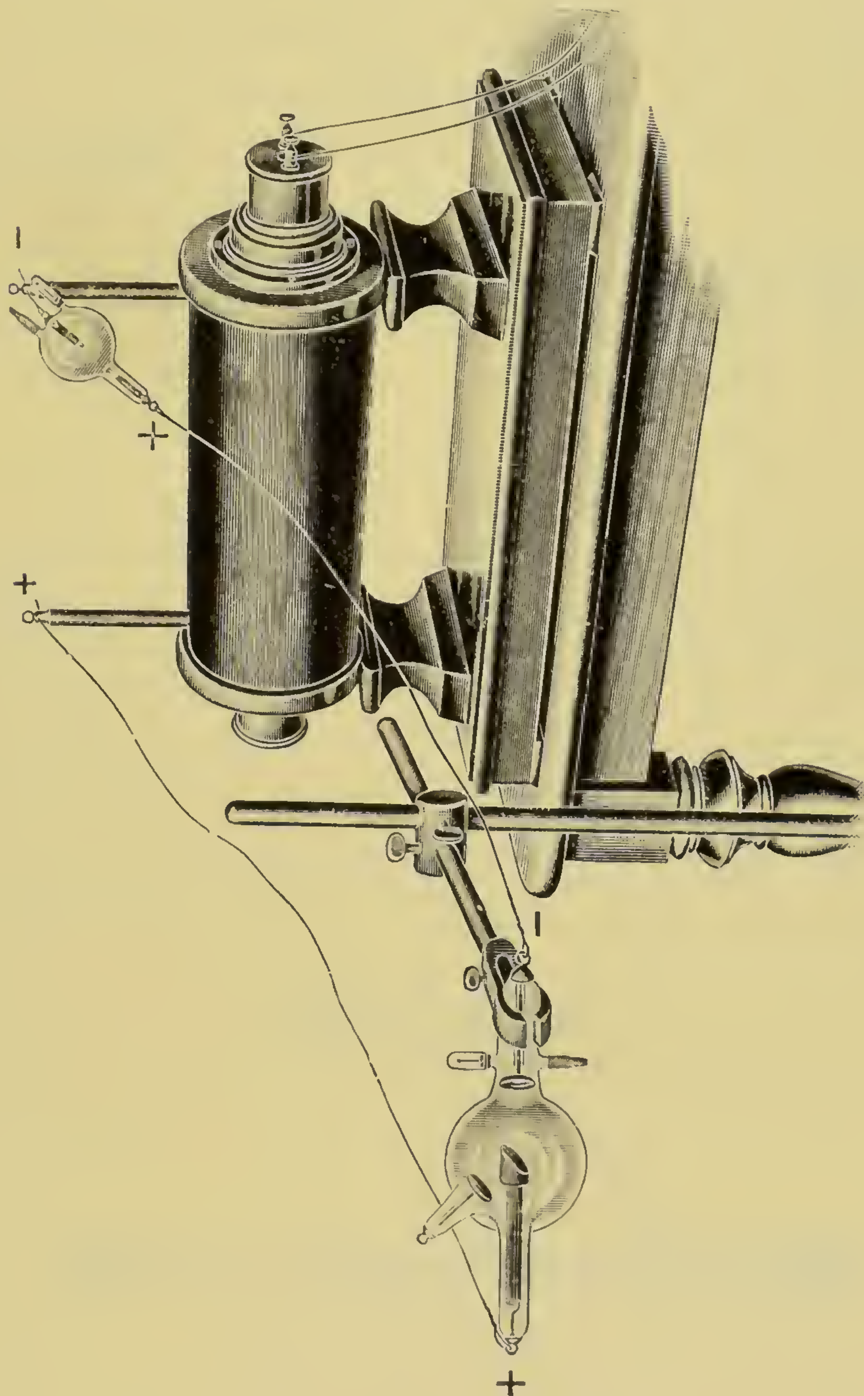


Fig 80.

duktors sehr leicht durch das Rohr hindurchgeht, wenn die in der Kugel angebrachte Elektrode Kathode ist, geht fast kein Strom durch das Rohr hindurch, wenn man die in dem Hals befindliche Elektrode zur Kathode macht. Die Anwendung der Ventilröhre zur Unterdrückung des Schließungsfunkens in einer Röntgen-

röhre ergibt sich daraus ohne weiteres, nur ist bei der primitiven früheren Anordnung die Ventilwirkung keine exakte gewesen. Gundelach umschließt die im Hals befindliche röhrenförmige Elektrode sehr eng mit der Glaswand und erzielt dadurch eine sehr gute Ventilwirkung.

Die Ventilröhre wird, wie Fig. 80 zeigt, zwischen die Kathode des Induktors und die Kathode der Röntgenröhre eingeschaltet.

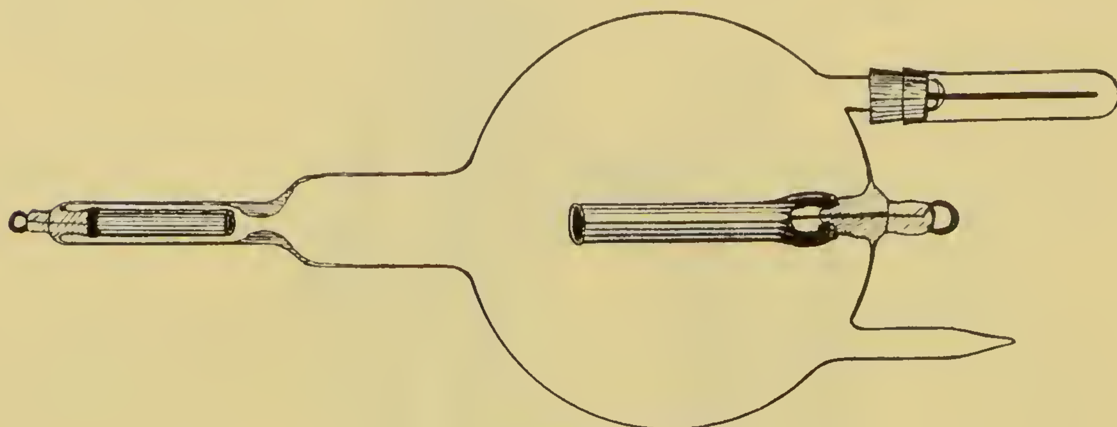


Fig. 81.

Ventil- oder Drosselröhren

Um das störende Nebenlicht, welches die Drosselröhre ausstrahlt, unschädlich zu machen, bringt man sie vielfach in einem Schutzkasten unter. Die Ventilröhren sind auch mit Osmoregulierung ausgestattet worden, so daß man sie, wenn sie nach langem Gebrauch hart werden sollten, wieder auf den Vakuumgrad der zu betreibenden Röhre bringen kann.

Bei der älteren Ventilröhre (Fig. 81) wird die Drosselung des Schließungsstromes dadurch bewirkt, daß die Glaswände die positive

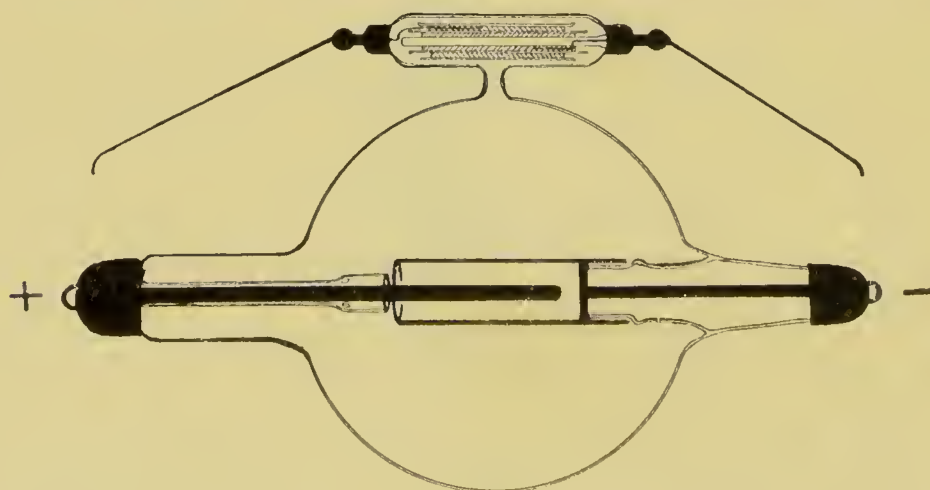


Fig. 82.

Elektrode ganz und möglichst nahe umschließen, so daß sich Kathodenstrahlen an der Oberfläche dieser positiven Elektrode nicht entwickeln können. Es wird dem Stromdurchgang in der ge-

wollten Richtung kein Widerstand entgegengesetzt, da die negative Elektrode sich frei in einer großen Glaskugel befindet, wodurch den Kathodenstrahlen keinerlei Hindernis entgegengestellt ist.

Bei der neuesten Ventilröhre (Fig. 82) kommt ein anderes Prinzip zur Geltung. Es ist hier die freie Metallmasse der eigentlichen Anode sehr weit an die Kathode selbst herangebracht, wodurch ebenfalls das Auftreten von Kathodenstrahlen an der positiven Elektrode vollständig verhindert wird. Man kann nun eine stabförmige Elektrode innerhalb einer Kathode, welche Spiralform hat, anordnen, oder man kann eine große scheibenförmige Kathode anwenden und eine kleine scheibenförmige Anode dicht davor setzen, oder aber man wendet eine röhrenförmige Kathode an und bringt die stabförmige Anode innerhalb dieser röhrenförmigen Kathode unter. In allen Fällen ist die drosselnde Wirkung eine vorzügliche.

7. *Röhren von H. Bauer & Co. (Berlin).*

Röhren (Bauer)

Diese sogenannten Luftkühlröhren enthalten eine schwere Kupferantikathode. Um die Oberfläche zu vergrößern und dadurch die Entgasung, sowie die Wärmeausstrahlung zu erleichtern, ist der massive Vorderteil mit tiefen Einschnitten versehen, so daß die Antikathode das charakteristische Aussehen eines Rippenkörpers

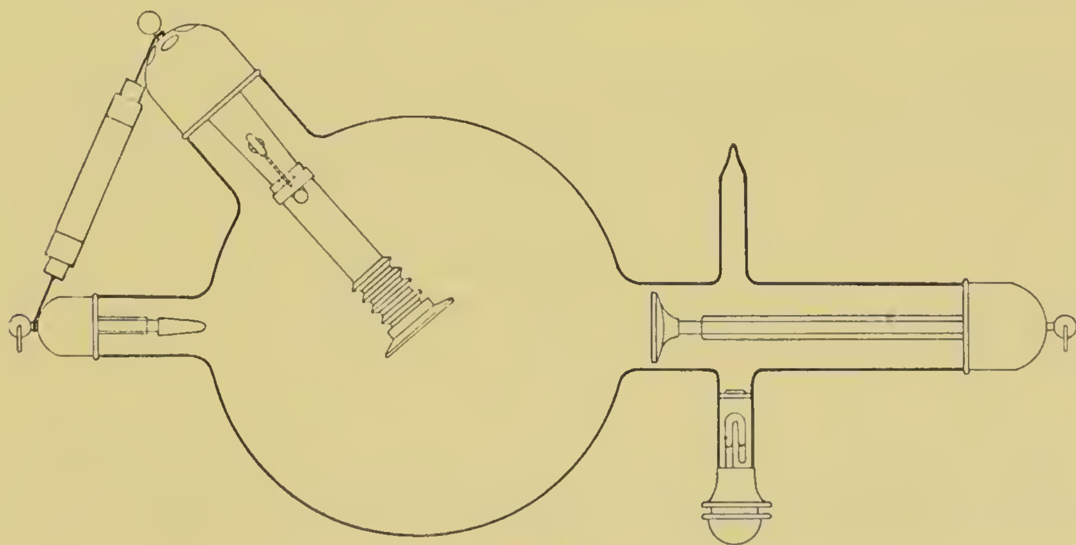


Fig. 83.

zeigt. Das röhrenförmig gestaltete Ende sitzt auf einem Glasrohr, welches unmittelbar durch die Außenatmosphäre gekühlt ist (Fig. 83). Da Kupfer eine gute Wärmeaufnahmefähigkeit, sowie ein großes Wärmeleitungsvermögen besitzt, so verträgt eine solche Antikathode, ohne Schaden zu nehmen, selbst außergewöhnlich große Energiemengen für relativ lange Zeit, denn die auf der Antikathode entstehende Wärme verteilt sich rapid über die ganze Metallmasse und es

dauert geraume Zeit bis eine Erwärmung der Antikathode eintritt. Diese Umstände machen sich namentlich bei Momentaufnahmen, für die die Bauerröhren hervorragend geeignet sind, vorteilhaft bemerkbar. Da ferner durch das allmähliche Warmwerden auch das Glasrohr genügend Zeit hat, der Temperaturerhöhung zu folgen, so wirkt, namentlich bei längerer Betriebsdauer, die durch Konvektion herbeigeführte Kühlung mittels der Außenatmosphäre mit, und die Konstruktion ermöglicht daher auch einen stundenlangen, störungsfreien Dauerbetrieb mit schwächeren Energiemengen, wie er für therapeutische Zwecke in Frage kommt.

Die Metallmassen sind so stark entgast, daß ein spontanes Umschlagen der Röhre nicht auftritt, andererseits gewährleisten sie eine lange Konstanz der Strahlungsintensität und Lebensdauer, da sie allmählich geringe Gasreste an das Vakuum abgeben und so eine Art Selbstregeneration herbeiführen.

Zur Unterdrückung der Zerstäubung des Antikathodenmaterials und dem damit verbundenen raschen Hartwerden werden zwei

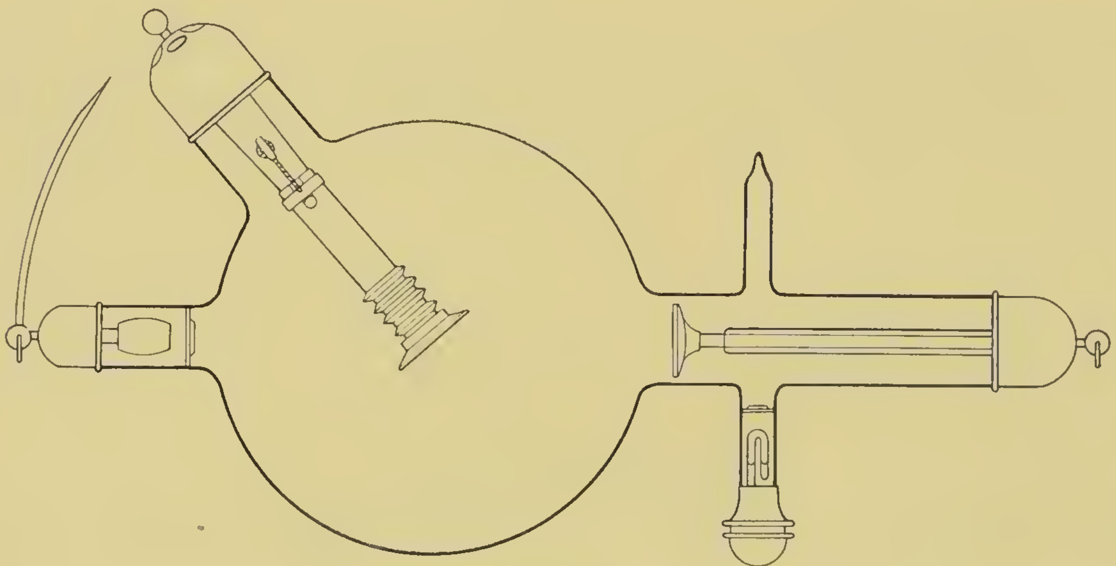


Fig. 84.

Mittel angewendet. Bei härteren Röhren, wie sie für Aufnahme- und Durchleuchtungszwecke in Frage kommen und welche infolge ihres erhöhten inneren Widerstandes der der Schließungsinduktion entsprechenden Phase des Induktorstromes von selbst entgegenwirken, schaltet man zwischen Anode und Antikathode eine sogenannte Drosselspule ein (Fig. 83). Eine solche Spule besteht aus einem mit Drahtwindungen umgebenen Eisenkern und setzt durch ihre Selbstinduktion einem Wechselstrom einen hohen „scheinbaren Widerstand“ entgegen. Diese Spule beschränkt nun den Stromübergang im wesentlichen auf die aus nicht zerstäubendem Aluminium bestehende Anode, während sie einen Ausgleich der negativen Ent-

ladung, die die Antikathode durch das Auftreffen der Kathodenstrahlen annimmt, ermöglicht.

Da die ganz weichen Röhren, wie sie namentlich in der dermatologischen Praxis Verwendung finden, einen so niedrigen inneren Widerstand aufweisen, daß sie besonders leicht auf Schließungsströme reagieren, so hat Bauer für diesen speziellen Fall, seine Röhren derart umkonstruiert, daß das Auftreten dieser Ströme selbst bei größter Weichheit der Röhre ausgeschlossen ist (Fig. 84). Er verwendet als Anode einen nach vorn und hinten scharf auslaufenden Hohlzylinder aus Aluminium, welcher vollkommen von Glaswänden umgeben ist. Da Kathodenstrahlen — wie sie ein negatives Potential an der Anode hervorrufen würden — zu ihrer Entstehung immer großer freiliegender Flächen benötigen, so ist durch die geschilderte Anordnung ihre Entstehung und damit das Auftreten von Schließungslicht in der Röhre vollständig verhindert. Ein Diaphragma gestattet jedoch der positiven Entladung ungehindert Zutritt zu dem Röhreninnern. Zwischen der Anode und der Antikathode besteht keine unmittelbare Verbindung, sondern es führt von der Anode bis dicht vor die Antikathode ein in eine Spitze auslaufender Metallstab, welcher die Antikathode stets auf ein niedriges positives Potential aufladet. Die Röhre ist, wie bereits erwähnt, selbst bei größter Weichheit im Betriebe vollkommen frei von Schließungslicht.

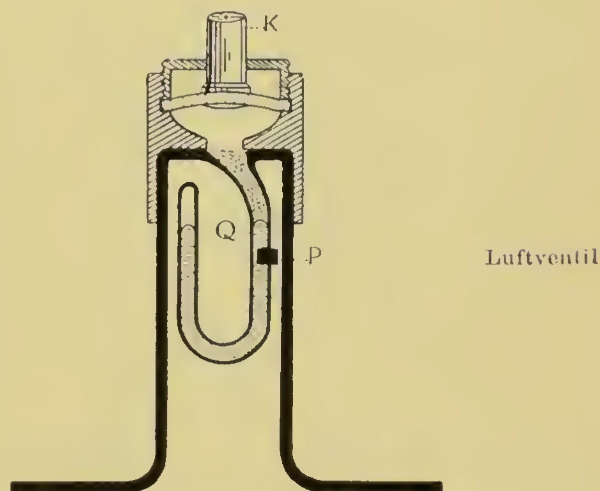


Fig. 85.

Luftventil

Während die Röhren bislang mit einer Kohleregeneriervorrichtung versehen waren, welche bei Verbindung mit der Kathode resp. direktem Anschluß Gas an das Röhreninnere abgaben, hat Bauer neuerdings eine eigenartige Vorrichtung, „Luftventil“ genannt, konstruiert, welche die Zuführung von atmosphärischer Luft in genau abgemessenen Quantitäten gestattet und unbegrenzt haltbar ist.

In der Wandung eines kleinen mit Quecksilber gefüllten Röhrchens Q, das in einem besonderen Tubus am Kathodenhals untergebracht ist, ist ein stecknadelkopfgroßes Stückchen porösen Materials P, welches für Quecksilber undurchlässig für Luft aber durchlässig ist, eingeschmolzen. Über dem Quecksilberröhrchen ist eine einfache Druckvorrichtung angebracht, welche nach außen hin im gewöhnlichen Zustand durch eine Kappe verschlossen ist.

Schraubt man diese Kappe ab, so wird ein kleiner Knopf *K* sichtbar. Durch einen Druck auf diesen Knopf entsteht in dem darunter befindlichen, das poröse Stückchen enthaltenden Teil des Quecksilberröhrchens ein Überdruck, durch welchen das Quecksilber sinkt. Das poröse Stückchen wird dabei frei, so daß Luft nach dem Röhreninnern diffundieren kann. Dadurch verringert sich der Überdruck, die Quecksilbersäule steigt von selbst wieder und bedeckt das Stückchen, wodurch die Luftzufuhr zur Röhre unterbrochen wird. Erst ein neuer Druck läßt das Stückchen wieder frei werden.

Röhren (Burger)

8. *Röhren der Firma R. Burger & Co. (Berlin).*

Unter der Bezeichnung „Energieröhren" bringt die Firma R. Burger & Co. Berlin Röntgenröhren in den Handel, deren Konstruktion im Folgenden beschrieben ist.

In Fig. 86 ist eine Röhre abgebildet, welche für stärkere Beanspruchungen (schwere Aufnahmen, Therapiezwecke) bestimmt ist. Die

Regulierung Burger

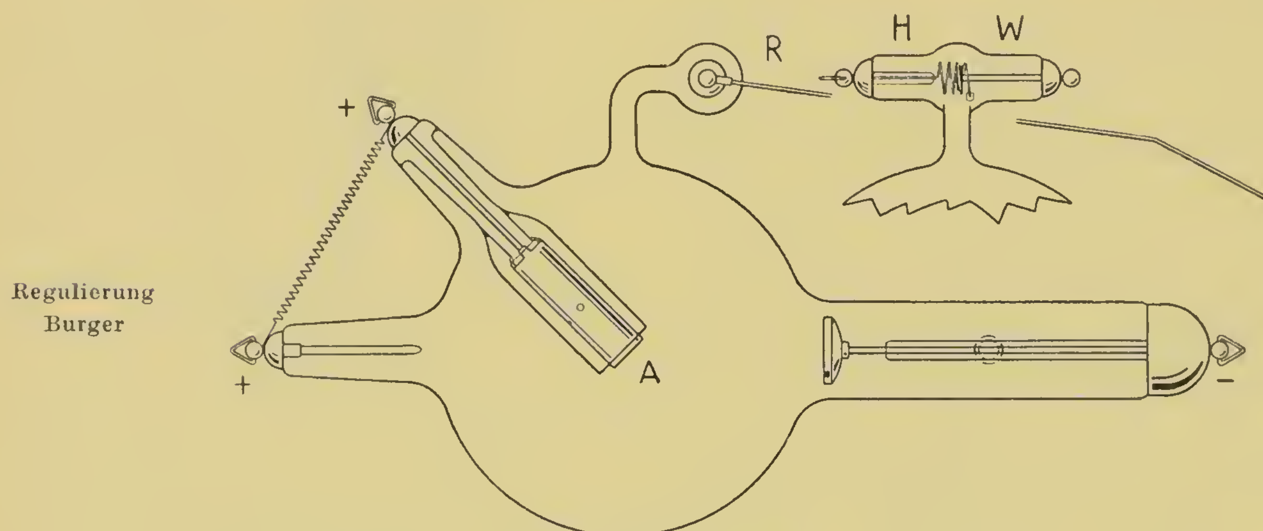


Fig. 86.

Antikathode *A* Fig. 87 besteht aus einer schweren Metallmasse, mit welcher eine Kupferhülse *M* und eine Metallstange *S* zur Ableitung der Wärme verbunden ist. Die Hülse *M* umschließt das tragende Glasrohr und besitzt am oberen Ende 4 Lappen, die gegen das Glasrohr gebogen sind und untereinander mit Draht verbunden werden. Die mit Gewinde auf der Stange *S* sitzende Kappe *K* dient dazu, den Antikathodenkörper fest gegen die Glaswandung zu spannen. Der die Antikathode umgebende Glasschutzmantel verhindert das Schließungslicht und das Austreten vagabundierender Strahlen.

Die Reguliereinrichtung *R* (Fig. 86) besteht aus der Elektrode *W*, welche bei Verbindung mit der Antikathode Gas

abgibt und dadurch die Röhre weicher macht, und aus der spiralig gestalteten Elektrode *H*, die bei Stromdurchgang Gas absorbiert und hierdurch die Röhre härter macht. Wie die Fig. erkennen läßt, sind die beiden Elektroden so angeordnet, daß die eine *W* von der anderen *H* umschlossen wird. Dadurch ist erreicht worden, daß auch bei ganz harten Röhren die Gas abgebende Elektrode *W* ohne Durchschlagsgefahr noch sicher arbeitet.

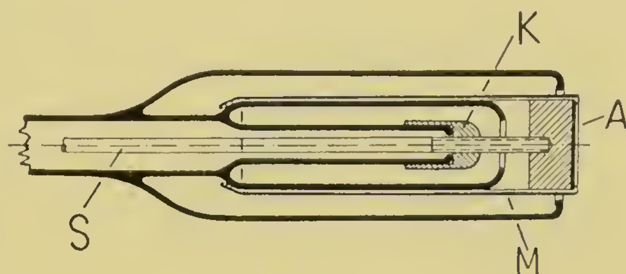


Fig. 87.

Für weniger starke Beanspruchung wird die in Fig. 86 abgebildete Energieröhre mit der in Fig. 88 vorgestellten Antikathode ausgerüstet. Auch hier wird eine sichere Befestigung der Antikathode durch die auf Stange *S* verschraubbare Kappe *K* erreicht. Die starke Antikathode *A* ist ebenfalls mit einem Glasschutzmantel umgeben.

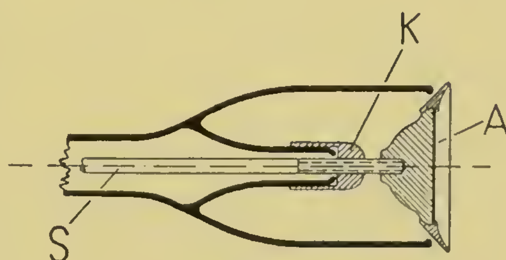


Fig. 88.

Fig. 89 stellt eine Energieröhre mit Luftkühlung der Antikathode dar. Die Antikathode *A* dieser Röntgenröhre besteht aus einer sehr schweren, gut leitenden Metallmasse, welche zur Vermeidung des Schließungslichtes mit einem Glasmantel umgeben ist. Den Halter der Antikathode bildet ein

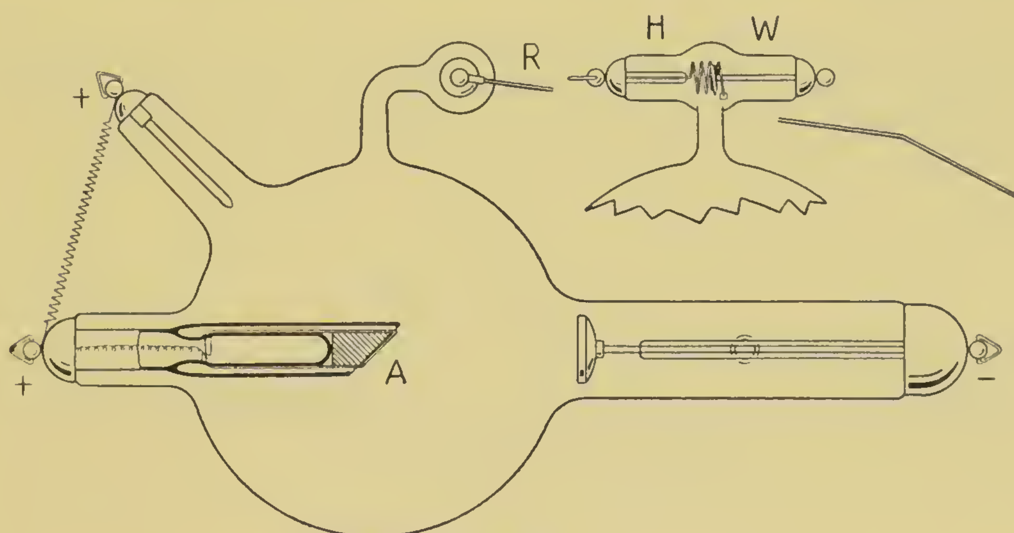


Fig. 89.

nach außen offenes, im Innern jedoch geschlossenes Glasrohr, daß der erhitzten Luft freien Abzug gewährt. Die Kühlung wirkt sehr energisch, so daß die Röhre für hohe Beanspruchungen geeignet ist.

Bezüglich der Reguliervorrichtung *R* sei auf die Erläuterung der Fig. 86 hingewiesen.

Zentralröhre (Burger)

Für sehr starke Beanspruchungen ist die Zentralröhre Fig. 90 bestimmt, deren Antikathode *A* aus einem massiven Metallklotz besteht, und durch einen metallischen, guten Wärmeleiter mit der Außenluft in Verbindung gebracht ist. Durch eine große

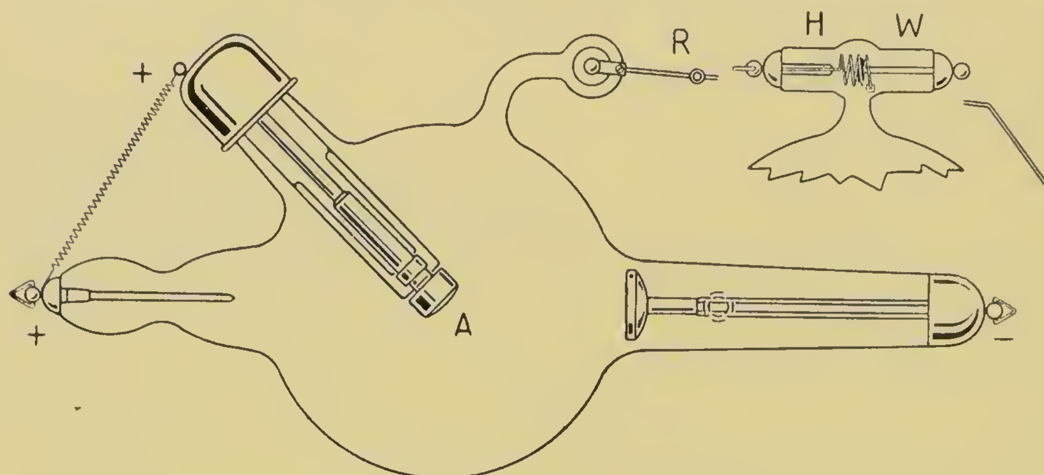


Fig. 90.

Metallglocke ist eine kräftige Oberflächenkühlung ermöglicht, so daß erhebliche Wärmemengen in kürzester Zeit ausgestrahlt werden.

Die gewölbte Antikathode gestattet einen unbeeinflußten Austritt des Zentralstrahles, bewirkt aber eine Ablenkung der schädlichen Nebenstrahlen, so daß deren Vereinigung zu einem Brennpunkte gegenüber der Antikathode verhindert und eine Zerstörung der Glaswand vermieden wird. Auch bei dieser Röhre ist die bereits beschriebene Vakuumregulierung *R* angebracht.

Den Herren Röhrenfabrikanten danke ich an dieser Stelle für die Unterstützung, welche sie mir bei der Beschreibung der feineren Konstruktionen ihrer Röhren haben zuteil werden lassen.

---

9. Kapitel.

Bleiblendenapparate für die Röntgenographie und Röntgenoskopie.

Allgemeine Bemerkungen.

Blendenwirkung

Schon im Anfang der Röntgenära wurde von Walter auf die außerordentliche Wirkung der Sekundärstrahlung hingewiesen. Er stellte experimentell fest, daß es ganz besonders die letztere war, welche in einer großen Zahl von Aufnahmen für Mißerfolge resp.

für mangelhaft ausgefallene Bilder verantwortlich gemacht werden mußte. Diese Sekundärstrahlung, welche teils von der Röntgenröhre selbst ausgeht, teils im Körper des Untersuchten entsteht[1]), muß durch Hilfsmittel der Technik möglichst unschädlich gemacht werden. Es ist sehr wunderbar, daß trotz der vielen Publikationen in dieser Richtung noch immer nicht in genügend sachverständiger Weise mit Blenden gearbeitet wird, daß es sogar noch Untersucher gibt, welche ihre Anwendung gar nicht oder nur vom Hörensagen kennen.

Da nun in der Tat durch eine sachgemäße Abblendung außerordentlich viel zu erreichen ist, indem wir Bilder von der größten Schärfe und Schönheit erzielen, so kann nicht oft genug darauf hingewiesen werden, daß es gerade das Blendenverfahren ist, welches eigentlich erst die Röntgenuntersuchung zu einer wirklich brauchbaren, d. h. exakten Methode gemacht hat. Bisher hatten wir in sehr vielen Fällen lediglich Schattenbilder vor uns, welche nur bei leicht zu durchdringenden Körperteilen, besonders den Extremitäten, Struktur zeigten. Seit Einführung des Blendenverfahrens sind wir imstande, auch von den schwieriger darzustellenden Skelettpartien scharfe Strukturbilder zu erhalten. Diese muß der Chirurg unbedingt verlangen, denn fast zwei Drittel aller Diagnosen wird unter Berücksichtigung der Strukturverhältnisse gestellt. Ich möchte an die schwer zu erkennenden Frakturen erinnern, welche sich häufig nur dadurch zeigen, daß ein feiner Sprung den Knochen durchzieht, oder eine minimale Auflagerung von Callus auf ihm sichtbar ist. Solche Feinheiten sind nur dann wahrzunehmen, wenn wirklich absolut scharfe Bilder vorliegen, die technisch nicht mehr zu vervollkommnen sind. Trotzdem man dieses eingesehen hat, ist es noch immer nicht gelungen, das Blendenverfahren so allgemein zu machen, wie es, seinem Werte entsprechend, verdient. Es liegt dieses hauptsächlich daran, daß die meisten der heute in Gebrauch befindlichen Blenden unhandlich und schwer zu dirigieren sind, so daß der Untersucher es vorzieht, lieber die Aufnahme in alt hergebrachter Weise schnell zu vollenden, als sich lange mit der Anbringung von Bleiblenden zu quälen.

Es ist indessen unbedingt zu verlangen, daß dieses anders wird, denn nur durch Kenntnis der Blendentechnik und durch ihre richtige Anwendung wird es möglich sein, den Röntgenuntersuchungen die allgemeine Wertschätzung zu verschaffen, welche sie in der Tat verdienen.

---

[1]) Die von der Glaswand der Röhre ausgehenden Sekundärstrahlen („ektogene“, Holzknecht) haben nach den Untersuchungen von Walter stets dieselbe Härte wie die Fokusstrahlen. Die im Körper des Patienten entstehenden Sekundärstrahlen (entogene“, Holzknecht) sind härter als die Fokusstrahlen.

entogene ektogene Sekundärstrahlen

Nächst der Unschärfe der Bilder, welche durch Bewegung des zu untersuchenden Körperteils entstehen, sind es vor allen Dingen Fehler der Aufnahme und zwar vorwiegend solche, die auf Wirkung der Sekundärstrahlen beruhen, welche die Erzielung tadelloser Resultate verhindern. Man erkennt beispielsweise auf den Platten sehr häufig nur deswegen keine Strukturverhältnisse, weil die Negative einen leichten Grad von Verschleierung zeigen. Diese wiederum ist dadurch bedingt, daß mit zu harten Röhren und ohne Blenden gearbeitet worden ist. Weitere Fehler, welche außerordentlich störend zutage treten, sind Projektionsfehler, hervorgerufen durch falsche Einstellung der Röhre. Hierdurch kommen perspektivische Verzeichnungen zustande, die das Gesamtbild zu einem unrichtigen machen. Auch diese Projektionsfehler hätten vermieden werden können, wenn eine exakte Blendentechnik bei der Aufnahme zur Anwendung gekommen wäre.

Die Bekämpfung der schädlichen Einwirkung der Sekundärstrahlen kann auf verschiedene Weise in Angriff genommen werden.

Die Benutzung ganz weicher Röhren, die am wenigsten Sekundärstrahlen aussenden und erzeugen, würde die einfachste Lösung sein, indessen dringen sie bekanntlich nicht genügend durch den menschlichen Körper hindurch, um noch eine Wirkung auf die photographische Platte zu haben. Aus diesem Grunde sind wir darauf angewiesen, härtere Röhren zu nehmen und die von ihnen erzeugten Sekundärstrahlen durch das Zwischenschalten geeigneter Bleiblenden zu vermindern.

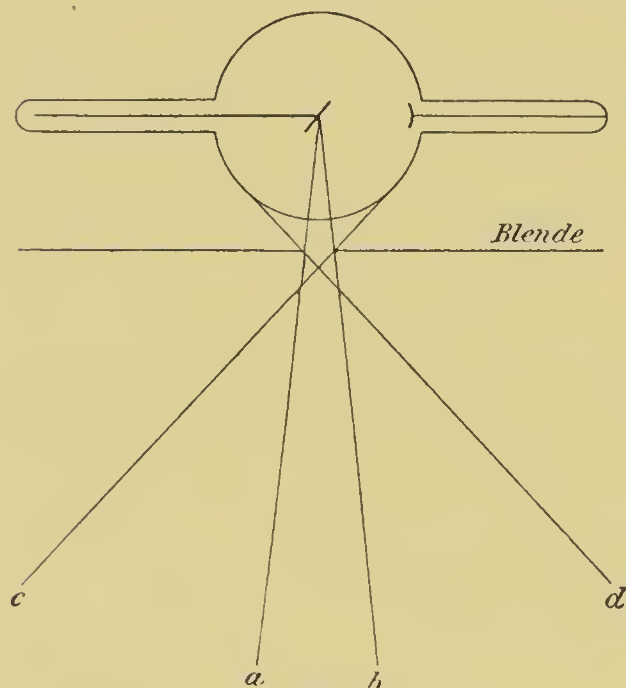


Fig. 91.

Nehmen wir beispielsweise eine Blende, deren Diaphragma einen Durchmesser von 3 cm hat und zentrieren oberhalb derselben, wie Fig. 91 erläutert, eine Röntgenröhre, so sehen wir, daß außer dem fokalen Strahlenbündel *a*, *b*, welches, vom Fokus der Röhre ausgehend die Blende passiert, auch noch die von der Glaswand kommenden Strahlen *c*, *d* durch das Diaphragma hindurchtreten. Letztere tragen nun ihrerseits durch Erregung von Sekundärstrahlen im Körper dazu bei, die Platten zu verschleiern, so daß wir selbst bei Anwendung einer

Bleiblende immer noch ein gewisses Quantum störender Strahlen haben, welche durch die letztere nicht zurückgehalten werden können. Allerdings ist ihre Qualität schon sehr wesentlich vermindert.

Um nun aber die Verhältnisse so günstig wie möglich zu gestalten, muß unser Bestreben dahin gehen, nur das fokale Strahlenbündel den Körper passieren zu lassen unter Ausschließung der von der Röhrenwand kommenden Sekundärstrahlen. Diesen Zweck erreicht man fast vollständig durch Benutzung einer röhrenförmigen, auf oder unter der eigentlichen Bleiblende aufgestellten Blende, wie Fig. 92 veranschaulicht. Die Durchmesser der Öffnungen der oberen und unteren Rohrapertur betragen 5 cm. Wir sehen nun, wie das fokale Strahlenbündel *a*, *b* die untere und obere Rohrapertur passiert, während die Strahlen *c*, *d*, welche von der Glaswand kommen, zwar die obere Rohrapertur passieren, dann aber im Innern des Zylinders stecken bleiben und hiermit unschädlich gemacht werden. Die von den Glasstrahlen getroffene Innenwand des Zylinders sendet theoretisch ihrerseits wieder Sekundärstrahlen aus. Diese kommen selbstredend praktisch nicht mehr in Betracht, da sie von zu geringem Penetrationsvermögen sind, als daß sie durch einen Körperteil hindurch noch auf die photographische Platte wirken könnten. Läßt man nun das von der Nebenstrahlung der Röhre annähernd freie fokale Bündel, welches aus der unteren Rohröffnung austritt, den menschlichen Körper durchdringen, so ergibt sich ohne weiteres, daß diese Strahlen auf der photographischen Platte ein wesentlich schärferes Bild zeichnen werden, als wenn die Fokusstrahlen mit gleichzeitig eindringenden Nebenstrahlen der Röhrenwand vermischt worden wären. Aber auch in letzterem Falle werden die durch den Körper dringenden Fokusstrahlen durch die Erregung von entogenen Sekundärstrahlen störend auf die Platten wirken und zwar um so mehr, je dicker der zu untersuchende Körperteil, und je weiter die Strahlenquelle von der photographischen Platte entfernt ist.

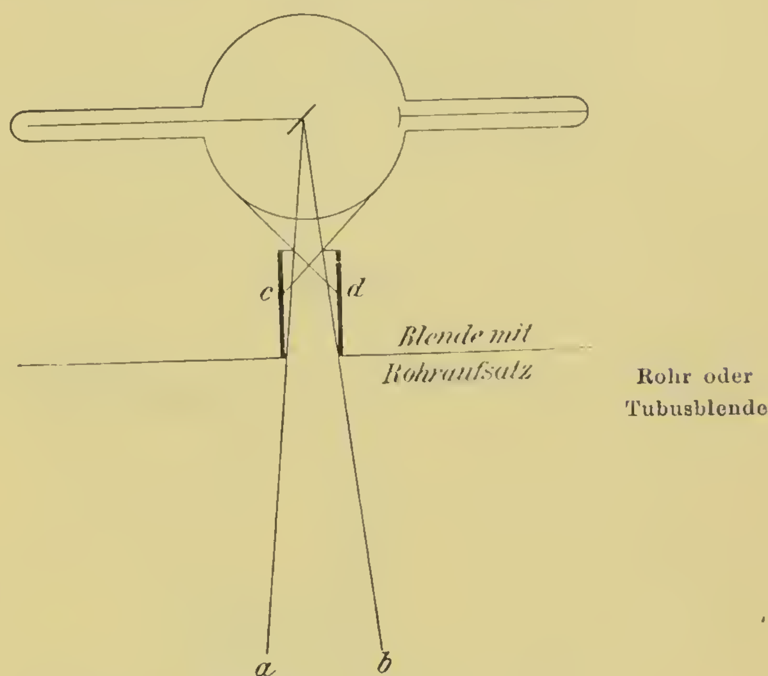


Fig. 92.

Rohr oder Tubusblende

Die von mir als praktisch befundenen Apparate, welche für

Abblendungszwecke zur Anwendung kommen, sollen im folgenden einer kurzen Besprechung unterzogen werden. Wir haben einfache billige und komplizierte teure Blenden, welche je nach den vorhandenen Mitteln zur Anschaffung empfohlen werden können.

Die einfachste Blende ist die

I. Die Tischblende,

Tischblende die aus einem hoch und niedrig stellbaren Tisch (Fig. 93) besteht, welcher als Platte ein $^1/_2$ m über die äußere Kante vorragendes Brett trägt. Letzteres enthält einen kreisrunden Ausschnitt von 15 cm Durchmesser. Über diesen können Bleiplatten gelegt werden, welche ihrerseits Diaphragmen von verschiedenem Durchmesser

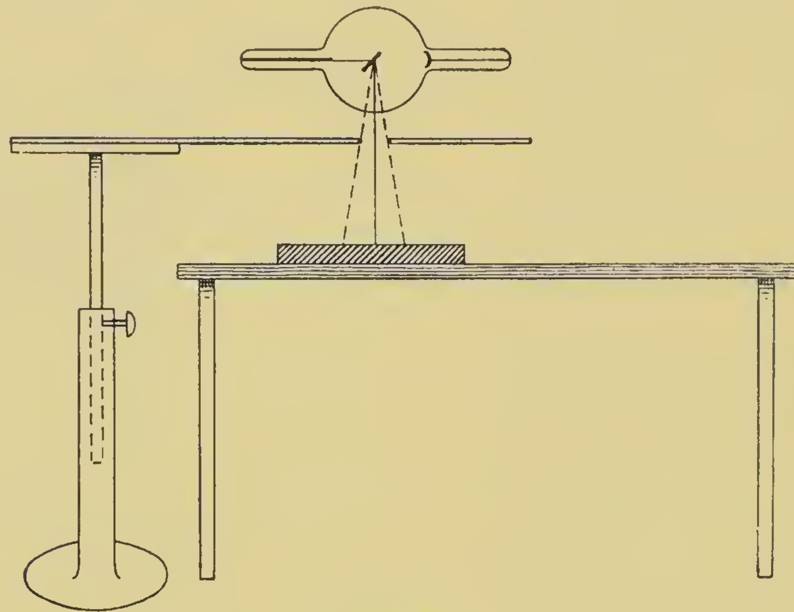


Fig. 93.

enthalten. Die Tischblende wird nun so über den zu untersuchenden Körperteil hinübergeschoben, daß ein durch das Diaphragma gefälltes Lot genau auf den zu untersuchenden Körperteil trifft. Die Röhre wird zwei Querfinger breit oberhalb des Diaphragma eingestellt, so daß der Fokus wieder senkrecht über dem Mittelpunkt des Blendenloches steht. Diese Einstellung kann man in der Weise leicht vornehmen, daß man einen rechten Winkel genau entsprechend dem Mittelpunkte des Diaphragma aufstellt und beim Visieren die Röhre so richtet, daß ihr Fokus genau auf dem vertikalen Schenkel des rechten Winkels sich befindet. Die Einstellung in der Längsachse wird mittels zweier Richtungsstäbe, in deren Verbindungslinie das Röhrenansatzstück liegen muß, gemacht.

Nach dem Vorgange von Gocht werden wir im folgenden die Verbindungslinie des Fokus mit dem Mittelpunkt des Blendendiaphragma und dem Mittelpunkt des Belichtungskreises auf der Lichtachse Platte oder dem Leuchtschirm die „Lichtachse" nennen.

Folgende einfache Überlegung zeigt sofort, in welcher Weise die Röhre über der Blende stehen soll. Eine richtig eingestellte Röhre wirft auf einen unterhalb der Blende liegenden Leuchtschirm einen Kreis, dessen Zentrum senkrecht unter dem Mittelpunkt des Diaphragma und dem Fokus der Röhre liegt. Bei einer falschen Einstellung ist dieser Kreis auf dem Leuchtschirm entweder seitlich oder in der Längsrichtung der Röhre verschoben. Ein einfaches Hilfsmittel, um die letztere zu zentrieren, besteht darin, daß man in der Mitte eines Korkes von der Größe des Diaphragma der Bleiblende einen Faden anbringt, welcher ein metallenes Lot trägt. Dieser Kork wird in das obere Blendenloch eingesetzt und nunmehr die Röhre eingeschaltet. Erscheint das metallene Lot genau in der Mitte des auf dem Leuchtschirm entworfenen Kreises, so ist man sicher, daß die Röhre richtig zentriert steht, man braucht jetzt nur vorsichtig den Kork zu entfernen und an die Stelle des Leuchtschirmes die Platte mit dem zu untersuchenden Körperteil zu legen.

Dieser Blendentisch hat den Vorteil, daß er leicht überall hin, z. B. an das Krankenbett transportiert werden kann. Wir können ihn ebensowohl über einer Schulter, einem Kopf, wie über einem Hüftgelenk anbringen, desgleichen ist er brauchbar bei Hand-, Knieuntersuchungen usw. Die Einstellung ist für den Anfänger etwas schwierig, da das Visieren erst durch Übung erlernt werden kann. Ein Nachteil dieses Apparates ist der, daß die Aufstellung desselben, die Einstellung der Röhre, das Visieren usw. immerhin eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, was namentlich dann, wenn es sich um Kinder oder nervöse Personen handelt, störend wirken kann. Ferner daß, wenn auch ein großer Teil der Sekundärstrahlen abgeblendet ist, dennoch ein kleiner Teil derselben, wie schon oben erwähnt (Fig. 91), in den Körper eindringt und unter Umständen doch noch zu Verschleierungen Anlaß gibt. Diese

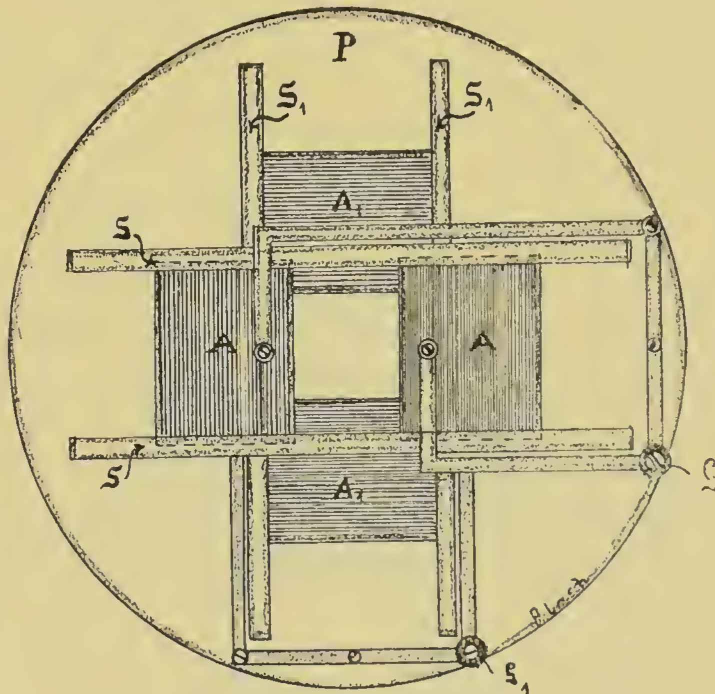


Fig. 94.

Tischblende ist eigentlich mehr ein Instrument, welches dazu dienen kann, dem angehenden Untersucher überhaupt die Wirkung der Bleiblende klarzumachen, denn mit ihm läßt sich sehr schön demonstrieren, wie beim Heranrücken der Blende an die photographische Platte, resp. an den Leuchtschirm der Belichtungskreis ein kleinerer wird, wie bei weiterer Entfernung vom zu untersuchenden Objekt oder beim näheren Heranrücken der Röntgenröhre an die Blende der Kreis wieder größer wird. Man kommt sehr bald dazu, sich einen bestimmten Abstand der Tischblende vom Objekt zu merken, welcher bei einem Abstand von 2 cm zwischen Röhrenwand und Bleidiaphragma einen Lichtkreis von gewünschter Größe gibt. Auch für Untersuchungen außerhalb des Laboratoriums, im Hause des Patienten mittels transportabler Apparate, ist diese Blende, ihres leichten Gewichtes wegen, zu empfehlen.

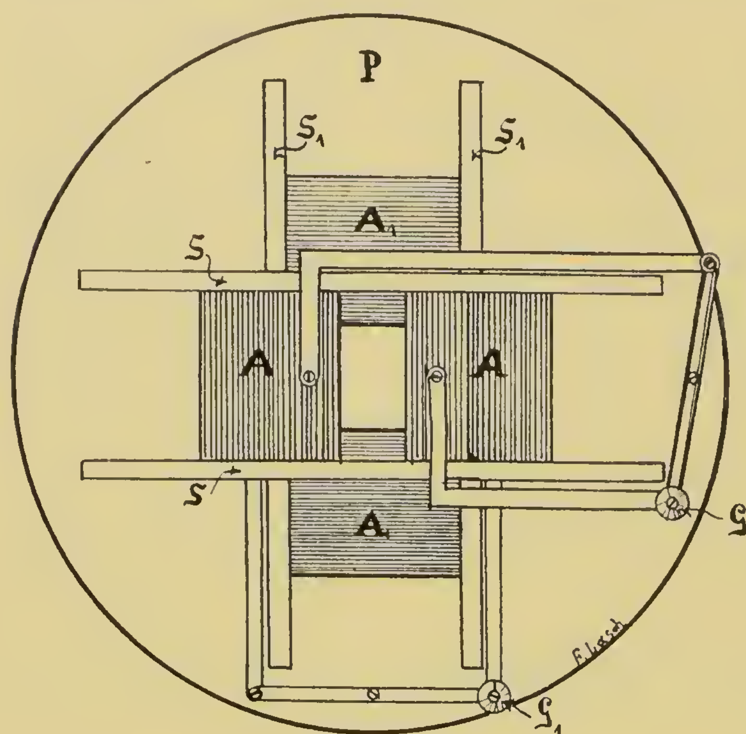


Fig. 95.

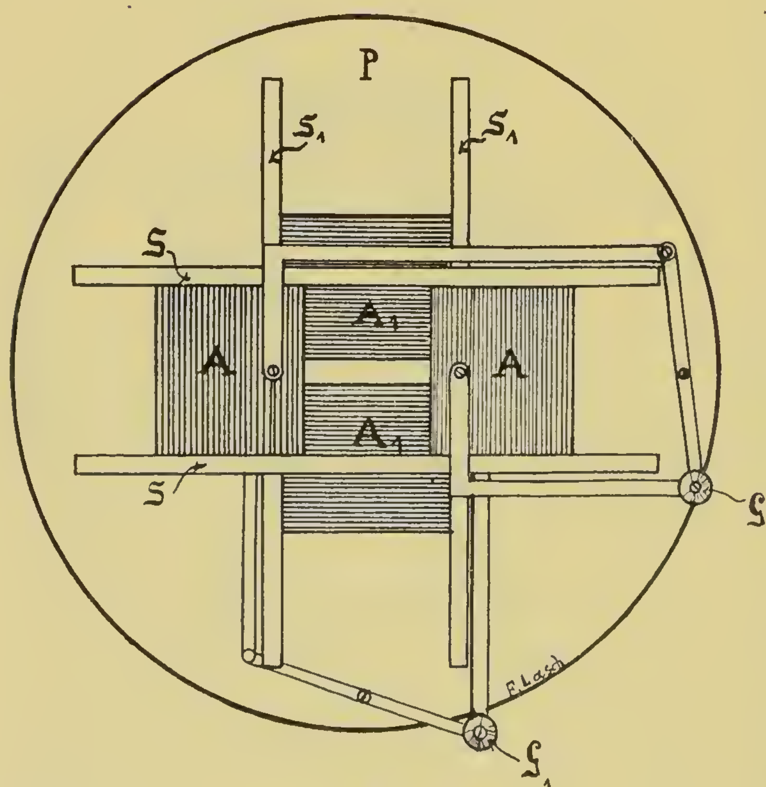


Fig. 96.

Für Platten vom Format 18/24 genügt bei einem Diaphragma von $2^1/_2$ cm Durchmesser ein Abstand von 24 cm zwischen Diaphragma und Platte, um die letztere vollständig auszuzeichnen. Selbstverständlich bleiben die Ecken der Platte, da es sich um ein

kreisförmiges Diaphragma handelt, unbelichtet. Für Platten vom Format 13/18 ist bei einer Blendenweite von $1^1/_2$ cm ein Abstand von 21 cm erforderlich, um eine Platte 13/18 vollständig zu decken. Will man noch größere Belichtungskreise erzielen, so wird man das Diaphragma, desgleichen auch den Abstand der Blende von der Platte vergrößern müssen. Es läßt sich diese Tischblende nun in der Weise verbessern, daß man sie mit der Schiebeblende (Fig. 94, 95, 96) und mit einem Röhrenaufsatzbrett (siehe unten) kombiniert.

Die Blendentische können von jedem Tischler in einfacher Weise nach dem beistehenden Muster hergestellt werden. Etwaige kleine Vervollkommnungen kann der Untersucher nach seinem Geschmack im Laufe der Zeit anbringen. Es läßt sich nicht leugnen, daß recht hübsche Strukturbilder mit diesem Apparat erzielt werden, wenngleich wir weit davon entfernt sind, stets ideale Bilder zu erreichen. Der größte Nachteil ist der, daß die Bilder nicht mit absoluter Sicherheit in idealer Ausführung gewonnen werden, und daß ferner, wenn die Blende auch noch so genau eingestellt und die Röhre zentriert worden ist, eine einzige Bewegung des Patienten die ganze Mühe umsonst machen kann. Wir werden weiter unten sehen, daß es andere Blendenmodelle gibt, welche sowohl Störungen der genannten Art, als auch die Sekundärstrahlung in noch vollkommenerer Weise auszuschalten imstande sind.

II. Die Schiebeblende.

Diese Blende ist nach dem Prinzip der Irisblende konstruiert. Schiebeblende
Auf der Grundplatte P sind die Gleitschienen S und S_1, in welchen die Bleischieber A bzw. A_1, verschiebbar eingesetzt sind, kreuzweise übereinander montiert. Die Schieber A sind mit dem Griff G durch geeignet geformte Hebel so verbunden, daß sie sich bei einer Linksbewegung des Griffes einander nähern, und so die Blendenöffnung verkleinern; und umgekehrt, bei einer Rechtsbewegung des Griffes die Blendenöffnung vergrößern. In gleicher Weise sind die Bleischieber A_1 mit dem Griff G_1 verbunden, so daß man die Stellung der Schieber A und A_1 unabhängig voneinander bewerkstelligt. Man kann somit aus dem zu durchleuchtenden Körperteil ein Quadrat (Fig. 94), oder ein Rechteck mit kleiner Basis und großer Höhe (Fig. 95), oder ein Rechteck mit großer Basis und geringer Höhe (Fig. 96) herausblenden. Solche Bleidiaphragmen, welche Öffnungen von jeder beliebigen Größe hervorzubringen imstande sind, erleichtern die Einstellung sehr wesentlich, da man schnell diejenige Blendenweite ansprobieren kann, welche erforderlich ist, um bei einem gewissen Abstand eine gewisse Platten-

größe vollständig auszuzeichnen. Dazu kommt, daß diese Diaphragmen, welche viereckige Blendenlöcher enthalten, gleichgeformte Belichtungsfelder ergeben und sich somit den Plattenformaten anbequemen. Auch für Längsaufnahmen sind sie brauchbar, da man rechteckige Diaphragmen, welche erstere vollständig auszeichnen, herzustellen imstande ist.

Wir werden bei Besprechung der Durchleuchtungstechnik noch auf diese Blenden zurückkommen. Hier sei noch erwähnt, daß mit Benutzung der Schiebeblende eine außerordentliche Zeitersparnis bei der Einstellung verbunden ist, da sie eine große Variabilität besitzt, welche schon bei geringer Übung ein sicheres Treffen der Blendenweite gestattet.

III. Die Wandarmblende.

Das bisher am meisten benutzte Wandarmstativ ist das seinerzeit von Gocht angegebene. Es hat sich im allgemeinen sehr gut bewährt, jedoch lassen sich gewisse Mängel nicht bestreiten. Die Stabilität ist eine verhältnismäßig geringe, so daß man nicht selten mit Schwankungen der Röhre, welche durch ein Federn des langen Armes entstehen, zu rechnen hat. Sodann bedingt die Benutzung des Wandarms, wenn man das Blendenverfahren verwerten will, noch einen zweiten Apparat, nämlich die Blende.

Ich habe versucht, diesen Röhrenhalter zu verbessern und eine Vereinigung desselben mit einer Blende herbeizuführen. Bei der Konstruktion des in Fig. 97 gezeichneten Apparates wurde in erster Linie darauf Rücksicht genommen, ihn aus so stabilem Material herzustellen, daß federnde Bewegungen möglichst ausgeschlossen werden. Sodann ist die Art der Röhrenbefestigung eine solche, daß gleichzeitig mit der Röhre auch die Blende verschoben wird, so daß eine besondere Einstellung der letzteren nicht erforderlich ist.

Der Wandarm besteht aus zwei festen Armen, welche die Stange F tragen und durch Kugelgelenke in allen Richtungen drehbar sind. Das Rad G dient zum Verstellen des Armes. Der Arm F trägt eine Graduierung und an seinem unteren Ende eine Drehscheibe h, welche mit den das Röhrenbrett und die Blende tragenden Armen c verbunden ist. Der Blendenapparat besteht aus einem Brett d, auf welchem schlittenförmig, ähnlich wie bei der Kompressionsblende (siehe unten), zwei Klammern angeordnet sind, welche die Röntgenröhre tragen. In der Mitte dieses Brettes befindet sich ein Ausschnitt von 10 cm im Quadrat. Unter demselben ist die Seite 237 beschriebene Schiebeblende b befestigt, so daß man durch

Verstellen der letzteren mittels des Handgriffes *a* das unter der Röhre befindliche viereckige Loch in jeder Dimension verengern kann. Das die Röhre tragende Brett hängt an dem Wandarm in dreieckigen Metallarmen so, daß es, wie aus Fig. 98 hervor-

Wandarm-blende

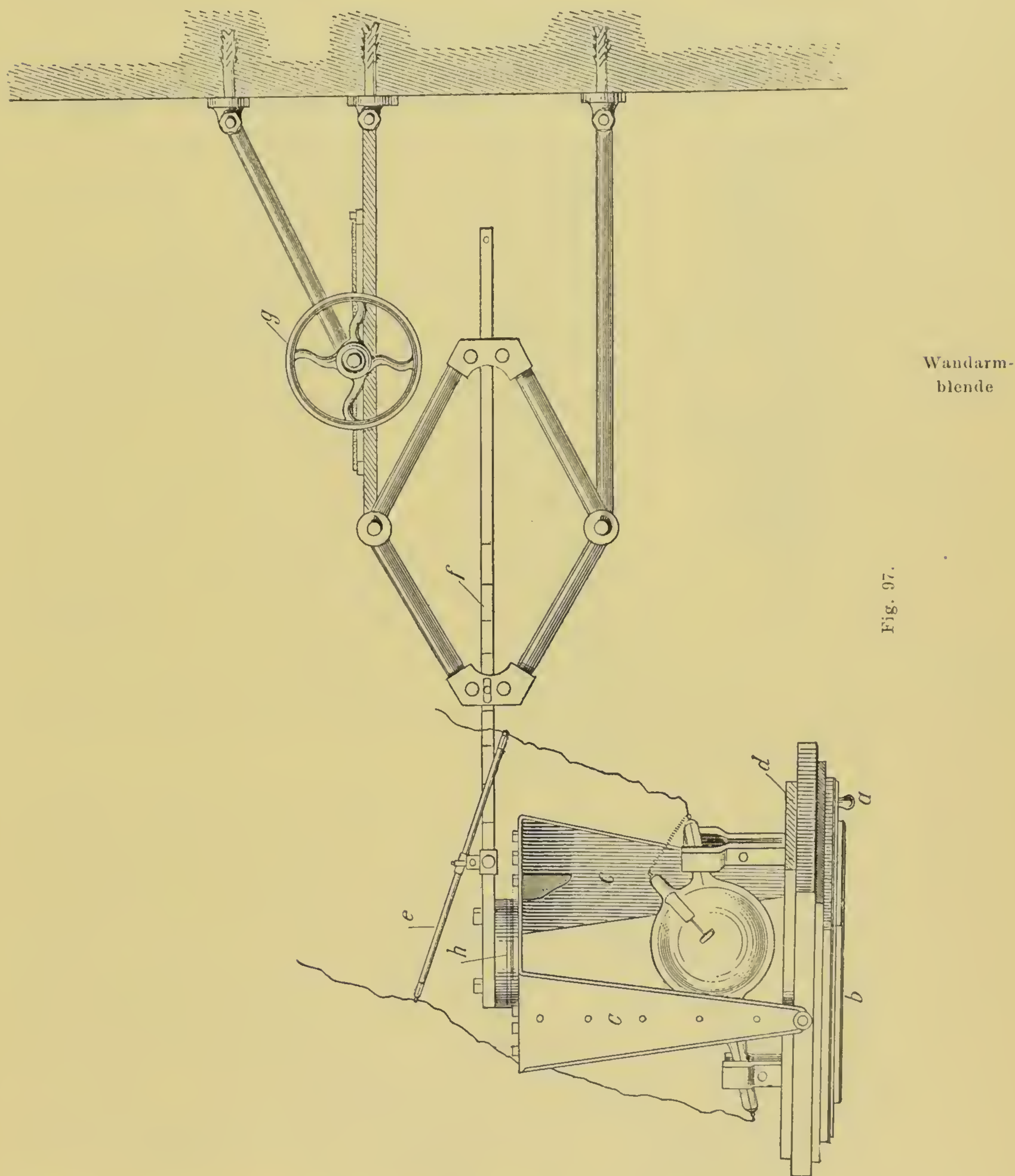


Fig. 97.

geht, um seine Querachse gedreht werden kann. Man ordnet also die Blende entweder horizontal über dem Tisch, oder in vertikaler Stellung an. Die erste Anordnung dient für röntgenographische Zwecke, die zweite für Durchleuchtungen. Dadurch, daß das Blendenbrett in dem Bügel drehbar ist, kann jede beliebige

Stellung der Röhre erreicht werden. Da die dreieckigen, das Röhrenbrett tragenden Metallarme mittels einer Drehscheibe mit der Stange verbunden sind, so erhellt, daß man die Röntgenröhre auch in schräge Stellungen bringen kann, so daß man den Apparat sehr gut beispielsweise bei Durchleuchtungen in der Richtung von *hinten oben* nach *vorn unten* oder umgekehrt, sowie für die schrägen Durchmesser benutzen wird. Es ist dieses, wie wir später sehen werden, von Wichtigkeit, wenn es sich darum handelt, die hinteren oder vorderen unteren Lungen- oder Pleurabezirke abzuleuchten.

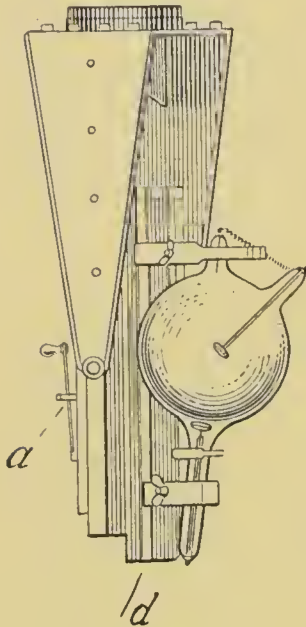


Fig. 98.

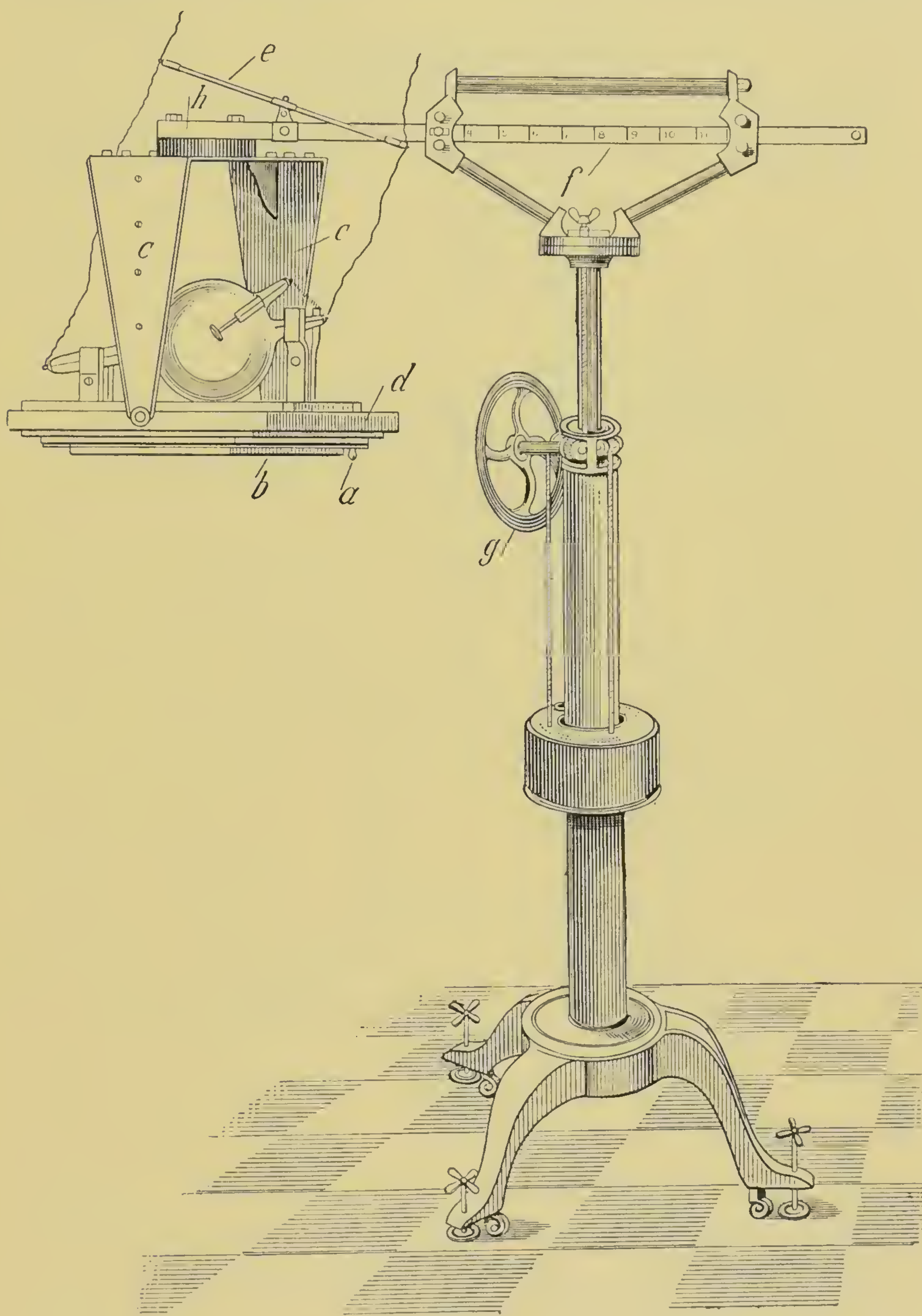
Die Zuführung der Kabel erfolgt von oben durch Vermittelung eines drehbaren Hartgummistabes *(e)*. Die Graduierung des Armes *St* ist für die Zwecke der Stereoskopie angebracht, so daß man mit Leichtigkeit eine Verschiebung der Röhre um die erforderlichen 7 cm bewerkstelligen kann. Da der Arm *(f)* hohl ist, kann, nachdem die das Blendenbrett tragende Vorrichtung heruntergenommen ist, in dieses Rohr der bewegliche Teil des Gochtschen Wandarmes hineingeschoben werden, so daß diejenigen, welche im Besitz des letzteren sind, Teile desselben benutzen können. Wer den Gochtschen Wandarm indessen nicht hat, kann sich ein solches Ersatzstück leicht anfertigen lassen. Die Wandarmblende gestattet:

1. Aufnahmen mit Blenden jeder Weite. Durch Unterlegen eines Leuchtschirmes kann man leicht den Grad der Weite, welche man der Schiebeblende geben muß, um eine bestimmte Plattengröße auszuzeichnen, feststellen. Wünscht der Untersucher die Schiebeblende indessen nicht zu benutzen, so wird, wodurch der Apparat verbilligt wird, ein Loch vom Durchmesser 8 cm eingeschnitten, und man braucht alsdann auf diesen Ausschnitt nur Bleidiaphragmen aufzulegen, deren Größen für die Belichtung eines bestimmten Plattenformates sich ohne weiteres ergeben. Man wird im allgemeinen mit zwei, höchstens drei Bleidiaphragmen auskommen. Es läßt sich indessen nicht bestreiten, daß die Schiebeblende ein schnelleres und bequemeres Arbeiten gestattet.

2. Aufnahmen zu stereoskopischen Zwecken unter Benutzung von Blenden.

3. Nach Einschieben des beweglichen Teiles des Gochtschen Wandarmes Übersichtsaufnahmen ohne Blende in der bisher üblichen Weise.

4. Durch Vertikalrichten des Blendenbrettes, Durchleuchtungen in jedem beliebigen Durchmesser zu internen und chirurgischen Zwecken.



Transportabeles Röhren-Blendenstativ

Fig. 99.

Der Wandarm repräsentiert ein ziemlich bedeutendes Gewicht und muß daher von sachkundiger Hand angebracht werden[1]). Für

[1]) Die Herstellung dieser Wandarmblende übernimmt die Firma Richard Seifert & Co., Hamburg nach meinen Angaben.

gewisse Zwecke empfiehlt es sich, den Arm nicht an der Wand zu befestigen, sondern ihn wie Fig. 99 zeigt, auf ein fahrbares Stativ zu setzen.

IV. Die Bleikistenblende.

Der Kasten *e*, Fig. 100, welcher durch eine Tür *f* zu verschließen ist, trägt im Innern die Röntgenröhre *h*. Die Kabelzuführung findet

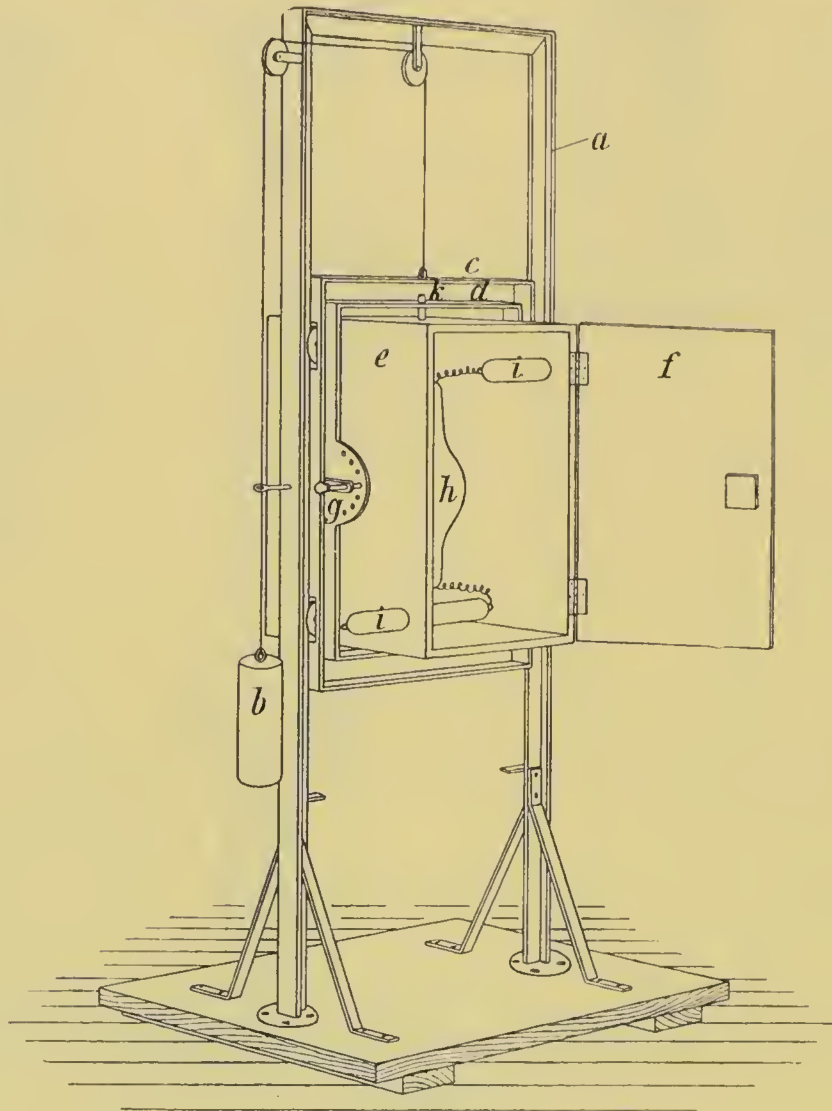


Fig. 100.

durch seitlich eingesetzte Hartgummistangen *i* statt. Im Innern ist sowohl der Kasten, wie die Tür mit Blei belegt, so daß die Strahlung der Röhre nach außen vollständig abgeschlossen ist. In der Wand, der Tür gegenüber, in der Figur nicht sichtbar, befindet sich ein mit schwarzem Papier beklebter Ausschnitt, vor welchen Bleidiaphragmen mit beliebig weiter Öffnung eingesetzt werden können. Die Röhre ist also im Innern des Kastens so zu zentrieren, daß eine Horizontale, welche man durch den Fokus legt, durch den Mittelpunkt des eingesetzten Bleidiaphragma

geht. Der Kasten ist zunächst in dem eisernen Rahmen *D* derart befestigt, daß er sich leicht um seine Längsachse bei *k* drehen läßt. Der Rahmen *d* ist wiederum in dem eisernen Rahmen *c* so angebracht, daß sich der erstere um seine Querachse bei *g* dreht. Die Feststellung geschieht durch einen Stift, welcher bei *g* in die dort eingezeichneten halbkreisförmig angeordneten Löcher hineinzuschieben ist. Diese Aufhängung erlaubt also eine Drehung des Kastens *e* um seine Längs- und Querachse. Die erstere Drehung würde bei Durchleuchtungen in den verschiedenen *schrägen* Durchmessern zur Anwendung kommen, die letztere bei Durchstrahlungen *von oben nach unten* und umgekehrt. Der Rahmen *c* trägt seitlich zwei Rollen, die auf Schienen in dem großen Gestell *a* laufen, und ist bei *c* mittels Stahldrahtes durch ein Gewicht *b* äquilibriert aufgehängt. Die dritte Art seiner Beweglichkeit von oben nach unten und umgekehrt erhält er also durch Hinauf-, resp. Herunterschieben in den Schienen[1]).

Bleikistenblende

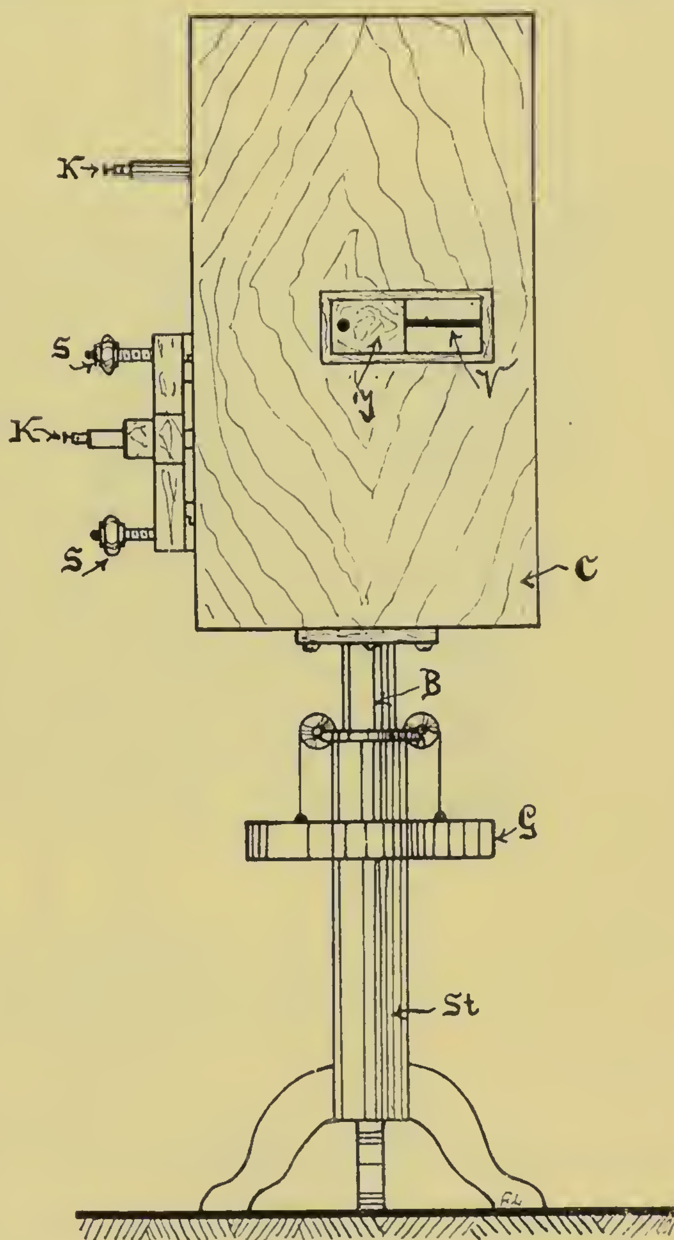


Fig. 101.

Wir sehen, daß die Röhre in ihrem Bleigehäuse vollständig für die Außenwelt unschädlich gemacht ist, da infolge der Bleipanzerung nach keiner Richtung Strahlen austreten können. Nur durch das vorne angebrachte Diaphragma dringen die gewünschten und für die Untersuchung wichtigen Fokusstrahlen heraus. Die Beweglichkeit der Röhre ist trotzdem im vollsten Maßstabe garan-

[1]) Zu beziehen durch Siemens & Halske, Nonnendamm Berlin.

tiert, denn wir vermögen sie hinauf und herunter zu schieben. Außerdem gestattet die Aufhängung des Kastens eine Drehung um die Längs- und Querachse der Röhre. Mithin sind alle nur gewünschten Durchleuchtungsrichtungen zu erreichen, um so mehr als auch der Patient, welcher vor dem Kasten Aufstellung findet, gedreht werden kann. Es läßt sich nicht leugnen, daß durch diese Bleikistenblende für alle Anforderungen der Praxis vollauf gesorgt ist. Ein Nachteil besteht indessen darin, daß die großen Röhrenformate in dem Kasten nicht untergebracht werden können, da ihre Pole den Wandungen zu nahe kommen, wodurch ein Funkenüberschlag in die Kastenwände stattfindet. Dieser gibt oft Veranlassung zum Durchschlagen und damit zur Zerstörung der Röhre. Ein Kasten von der entsprechenden Ausdehnung für große Röhren würde infolge der Bleipanzerung ein derartiges Gewicht haben, daß er in der vorstehend beschriebenen Weise nicht mehr leicht bewegt werden könnte.

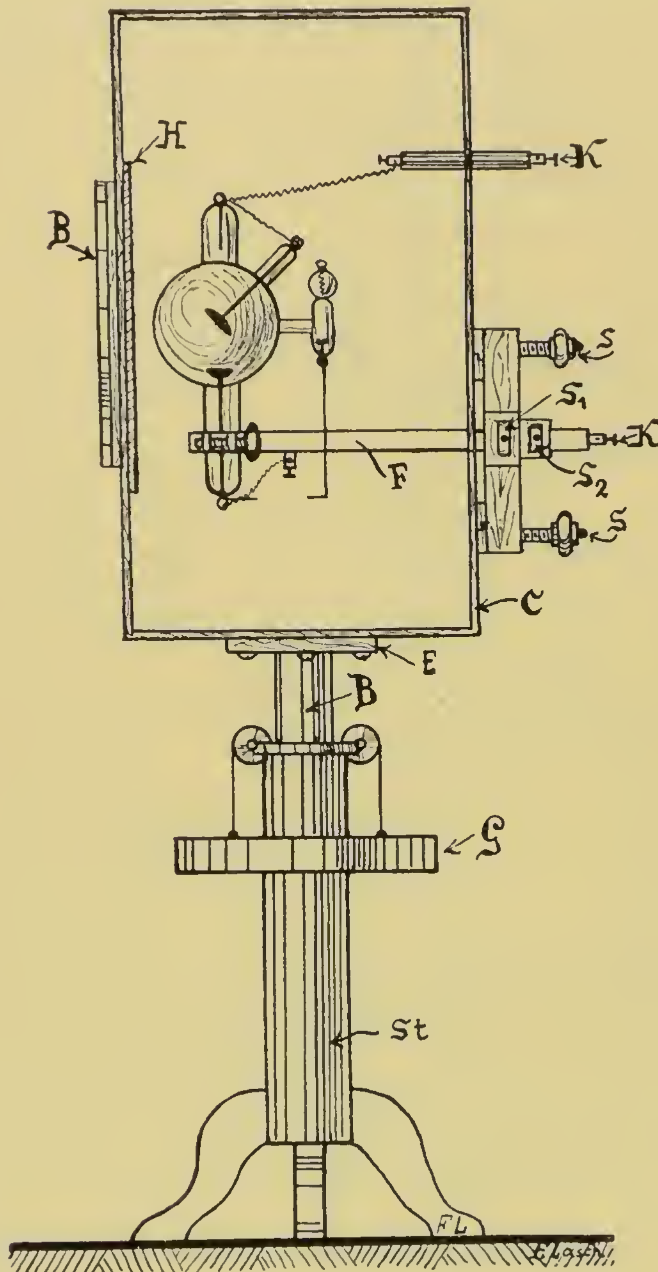


Fig. 102.

Verbesserte Bleikistenblende

Von dem Gesichtspunkte ausgehend, daß für die bei weitem größte Mehrzahl der Fälle ein Auf- und Niederbewegen der Röhre genügt, indem durch eine Drehung des Patienten die Drehbewegungen um die Längsachse ersetzt werden, benutze ich seit Jahren die von mir für die Praxis ausgebildete Bleikistenblende, welche für Röhren aller Formate brauchbar ist und außerdem durch Anbringung einer Schreib- und Zeichenvorrichtung als leicht anwendbarer, zuverlässiger Orthoröntgenograph dienen kann. (cf. Kapitel *Orthoröntgenographie.*) Sie ist folgendermaßen konstruiert:

In dem schweren Eisenstativ *St* ist das Eisenrohr *B* leicht auf- und abwärts verschiebbar (Fig. 101 u. 102). Letzteres ist mit einer festen Eisenplatte *E* versehen, auf welcher der Blendenkasten *C* be-

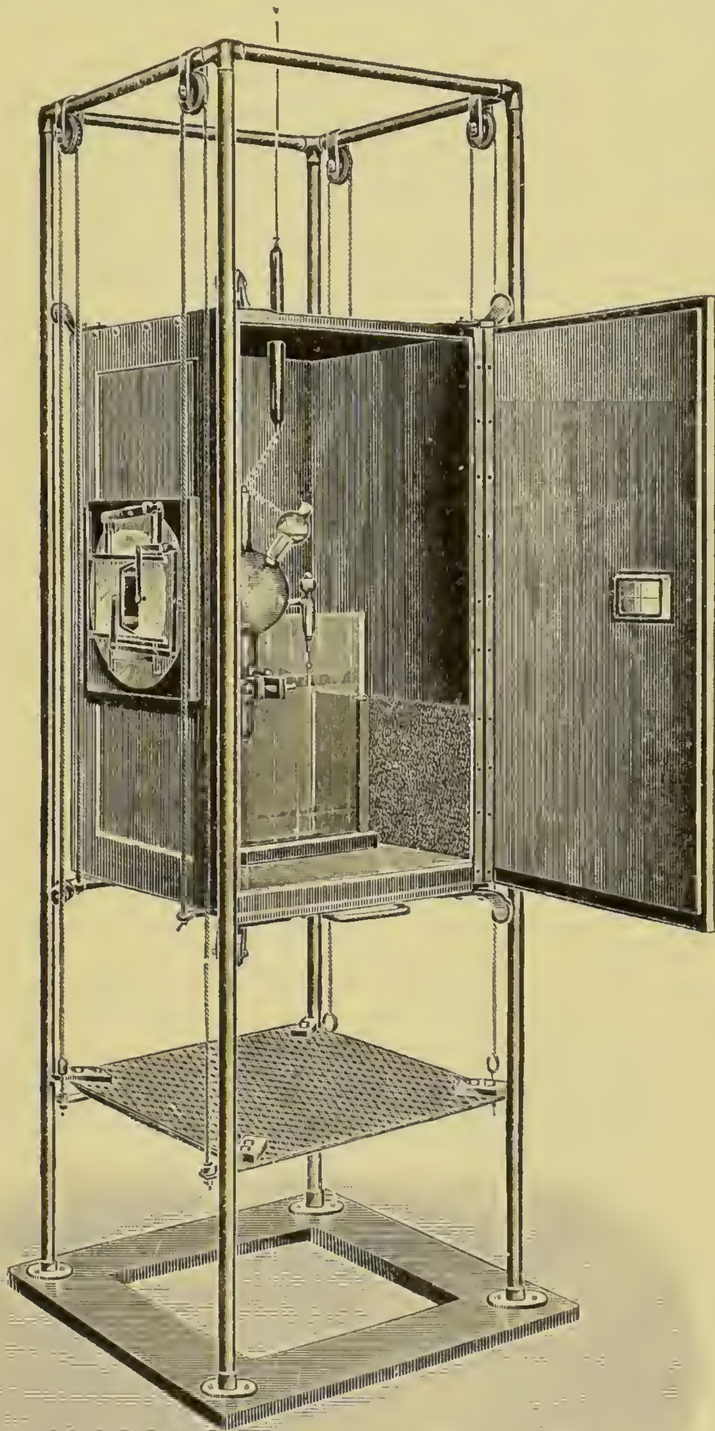


Fig. 103.

festigt ist. Dieser besteht aus Nußbaumholz und ist im Innern mit Blei ausgeschlagen (Höhe 90 cm, Breite 45 cm, Tiefe 50 cm). Um ein Überspringen der Funken, von der Röhre nach dem Bleiblech zu

vermeiden, ist dieses mit Hartgummiplatten gedeckt. An der Vorderseite des Kastens ist die Seite 240 beschriebene Bleischiebeblende *B* befestigt, welche es ermöglicht, aus dem zu durchleuchtenden Körperteil ein beliebig großes und beliebig geformtes Stück herauszublenden. Die Röhre wird durch den an der Hartgummistange *F* befestigten Röhrenhalter gehalten. Im Innern der Stange *F* befindet sich die Stromzuführung für die Kathode. Durch Lösen der Schrauben *S* ist eine Verstellung der Röhre in horizontaler durch S_1 in vertikaler Richtung möglich. Durch Lösen der Schraube S_2 hat man außerdem die Möglichkeit, die Röhre je nach ihrem Kugeldurchmesser vor- oder zurückzustellen, d. h. der Hartgummiplatte zu nähern oder von derselben zu entfernen. Eine Mikrometerschraube sorgt für die feine Einstellung. Um zu prüfen, ob die Röhre in der richtigen Höhe, d. h. vor der Mitte der Blende steht, ist an den beiden Seiten der Kiste je ein Bleiglasfenster mit zwei horizontalen Visierstäben *V* angebracht.

Während der Durchleuchtung lassen sich die Fenster durch die Schieber *J* schließen, so daß der Untersucher vollständig geschützt ist. Die Stromzuführung erfolgt durch die Klemmen *K*. Der Kasten *C* ist mit dem Gegengewicht *G* genau ausbalanciert, so daß man ihn, und somit die Blende je nach der Höhe des zu durchleuchtenden Körperteiles, ohne großen Kraftaufwand mit dem Fuß oder mittels einer in der Figur nicht sichtbaren Stange, mit der Hand hoch und niedrig stellen kann. Der Apparat ist mit der Erde in leitender Verbindung, so daß keine Gefahr für den Untersucher oder Patienten besteht, elektrische Schläge zu bekommen[1]). In etwas anderer Ausführung zeigt Fig. 103 die beschriebene Bleikistenblende.

Für solche Fälle, welche eine Durchleuchtung in der Richtung von *hinten oben* nach *vorn unten* oder umgekehrt erfordern, ist der vorstehend beschriebene Apparat nicht zu gebrauchen, weil er um die Querachse infolge seines großen Gewichtes nicht drehbar gemacht werden konnte.

Man kann sich in einfacher Weise dadurch helfen, daß die Seite 242 beschriebene Wandarmblende, statt wagerecht, senkrecht gerichtet wird. Da das Brett, welches die Röhre trägt, und auf welchem sich gleichzeitig die Schiebeblende befindet, um seine Querachse drehbar ist, so erhellt ohne weiteres, daß jede beliebige Schrägrichtung *von unten nach oben* oder umgekehrt hergestellt werden kann. In dieser senkrechten Stellung läßt sich die Wandarmblende überhaupt für alle Durchleuchtungszwecke der internen Praxis in genügender Weise verwenden. Sie erfüllt also mit gewissen Einschränkungen den Zweck der Bleikisten- und

---

[1]) Zu beziehen von Rich. Seifert & Co., Hamburg.

anderer Blendenapparate und hat gleichzeitig die Eigenschaft, auch für alle chirurgischen Untersuchungen anwendbar zu sein, so daß wir in ihr eine Blendenvorrichtung haben, welche man mit Recht ein Universalinstrument nennen kann. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß die Sekundärstrahlen nur in unvollkommenem Maße abgeblendet werden, daß mithin so schöne und deutliche Durchleuchtungsbilder, wie sie mit den geschlossenen Kisten-

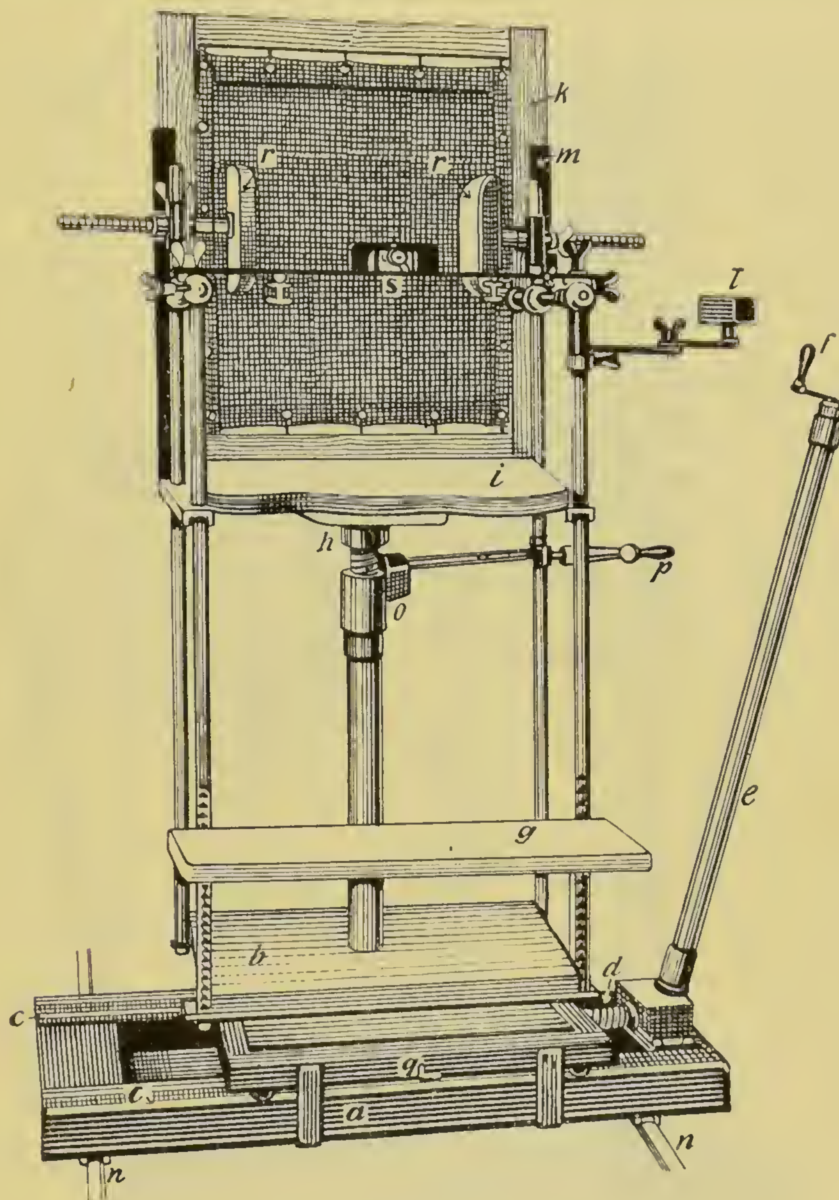


Fig. 104.

blenden erzielt werden, hiermit niemals zu erreichen sind. Außerdem ist der Untersucher nicht vollkommen gegen die Bestrahlung geschützt, ein Nachteil, welchen der Apparat mit der Holzknechtschen und anderen Blenden teilt. Ich empfehle daher, wenn es die Mittel erlauben, die geschlossene Kistenblende für Durchleuchtungen und Thoraxaufnahmen in Anwendung zu bringen.

Der Universaldurchleuchtungsstuhl für die Bleikistenblende.

Auf der Platte *b* (Fig. 104) befindet sich ein Gestell, welches den Rahmen für das Sitzbrett *i*, sowie für die Rückenlehne und

die seitlichen Armlehnen trägt. Das Sitzbrett ist bei *h* auf einer Schraubenspindel befestigt, welche sich mittels der Kurbel *p* aus der inneren Hohlsäule heraus-, resp. in dieselbe hineindrehen läßt. Hierdurch wird der Sitz *i* mit dem darauf sitzenden Patienten in die Höhe gehoben oder gesenkt, ohne daß die Rückenlehne,

Durchleuchtungsstuhl

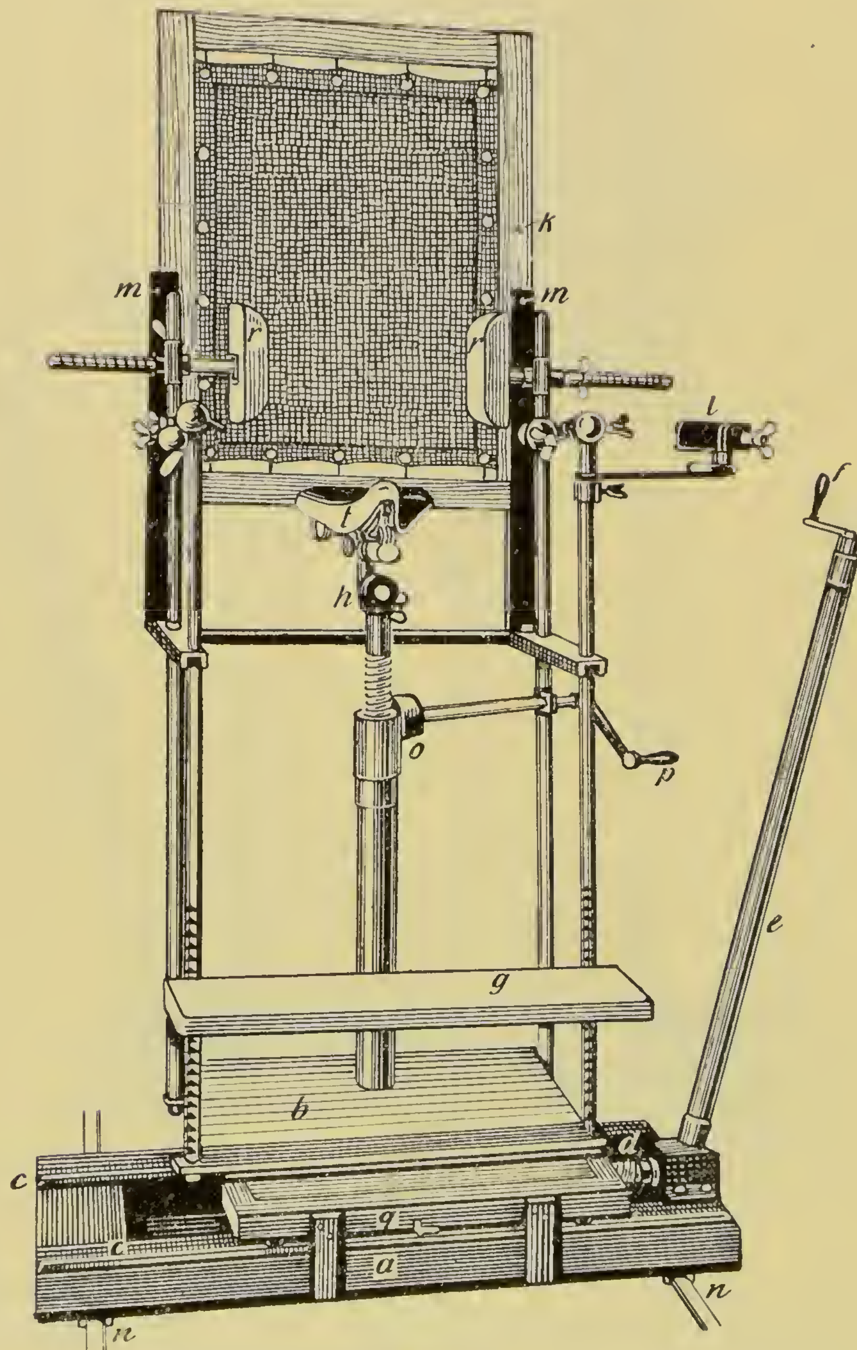


Fig. 105.

oder die Armlehnen ihre Stellung verändern. Die Rückenlehne *k* läuft in eisernen Schienen *m* und kann, wie aus Fig. 105 hervorgeht, hoch und niedrig eingestellt werden. Dieses ist namentlich dann von Bedeutung, wenn man an Stelle des Sitzbrettes z. B. bei Magenuntersuchungen einen Fahrradsattel *i* benutzt, oder wenn man unter Verzicht auf jede Sitzgelegenheit den Kranken im Stehen unter-

suchen will (Fig. 106). An den Armlehnen befinden sich je zwei Thoraxhalter *r*, welche zur Fixierung des Brustkorbes dienen und unter Benutzung einer Skala symmetrisch gegen den Brustkorb seitlich angedrückt werden können. Die Armlehnen werden durch eine Schiene *s*, welche zum Halten von Platte oder Kassette bestimmt

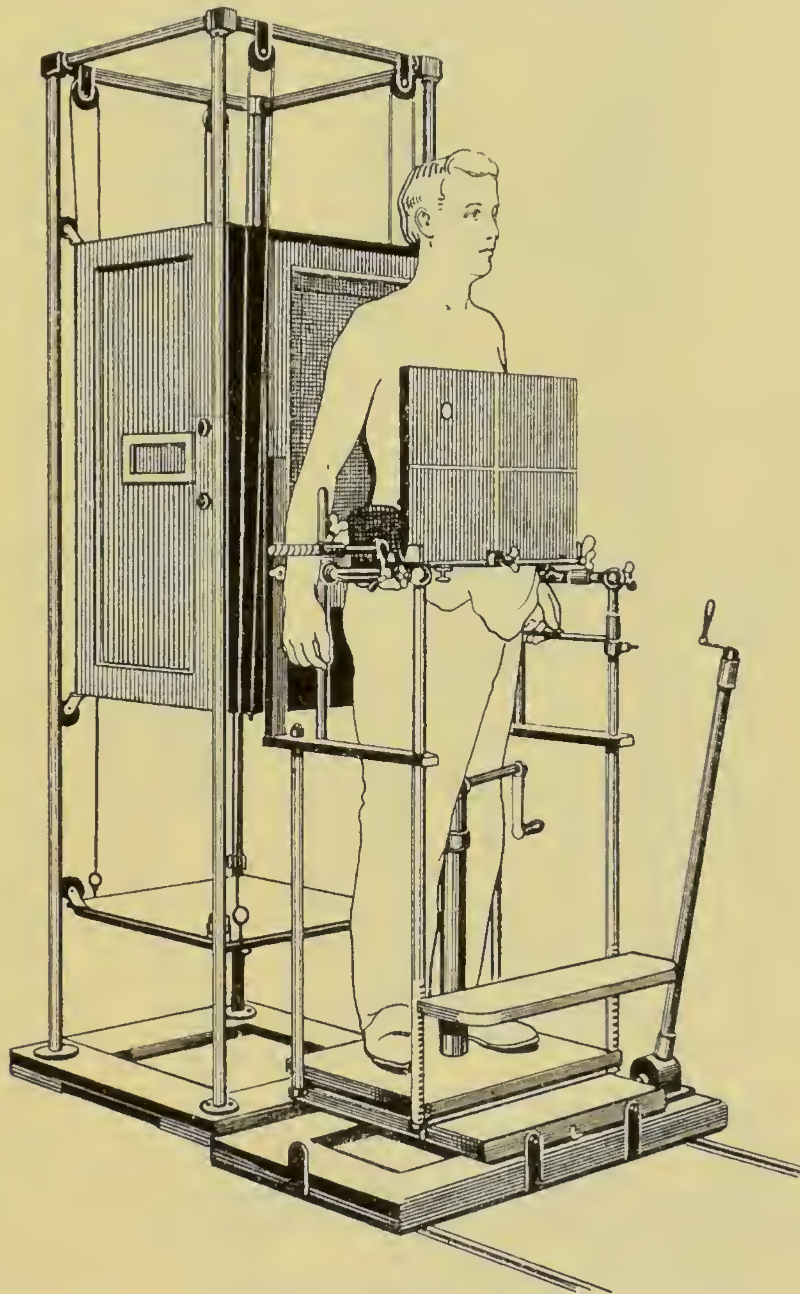


Fig. 106.

Durchleuchtung im Stehen

ist, überbrückt. Diese Schiene kann leicht entfernt oder auf den Armlehnen hin und her verschoben werden. Es ist ferner ein zweiter Leuchtschirm- oder Kassettenhalter *l* vorgesehen, welcher vermittels verschiedener Gelenke gestattet, den Leuchtschirm in allen gewünschten Ebenen an den Brustkorb heranzubringen. Eine verstellbare Fußbank *g* gibt dem auf dem Sitzbrett oder dem Radsattel sitzenden Patienten den nötigen Halt. Die eiserne Grund-

platte *b* dreht sich mitsamt dem ganzen Stuhl auf einer unter ihr befindlichen Eisenplatte um die Längsachse des Stuhles. Diese Drehung ist indessen nur dann möglich, wenn auf den Fußkontakt

Durchleuchtung im Sitzen

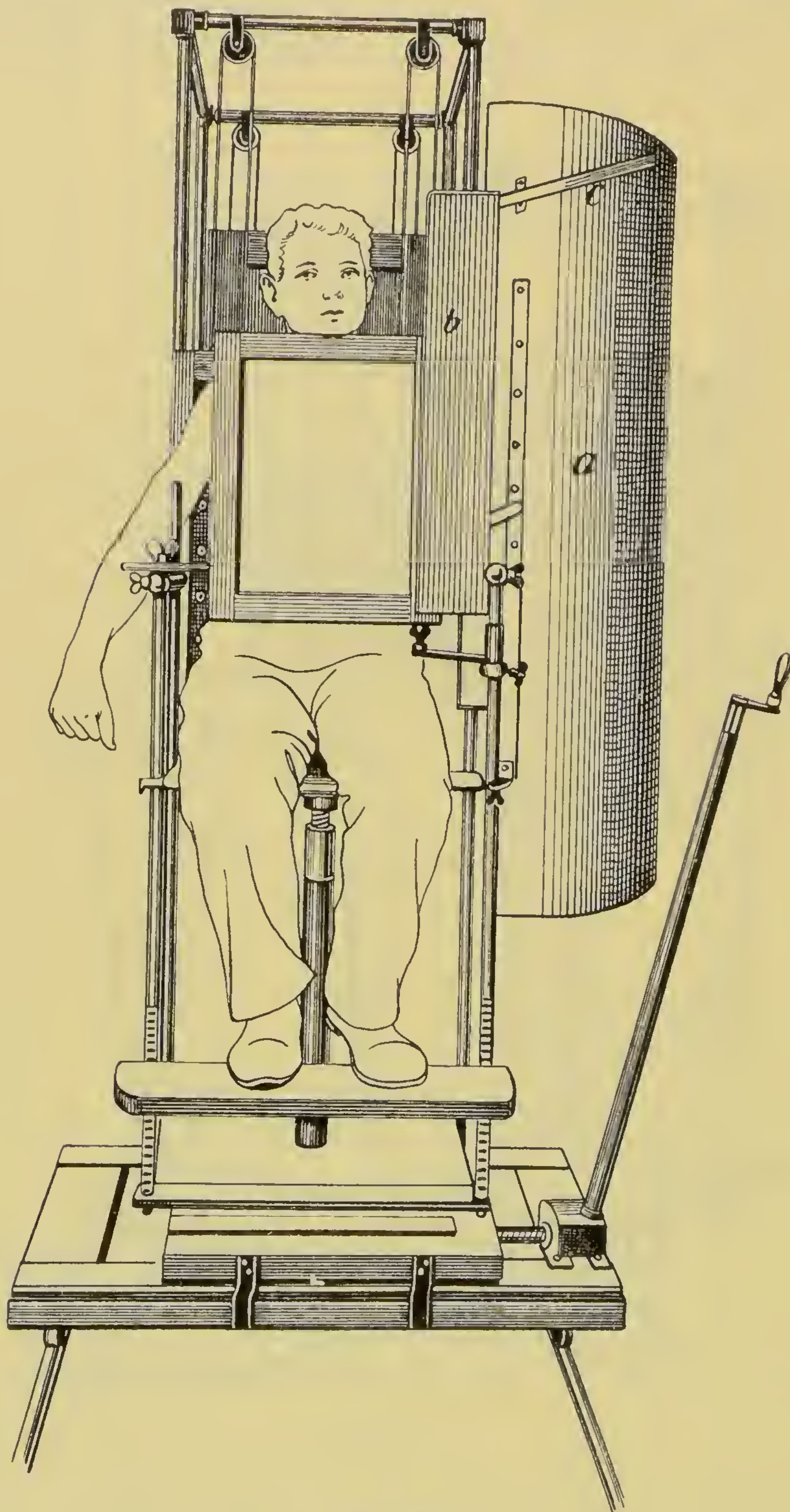


Fig. 107.

q getreten wird. Sobald der Kontakt losgelassen wird, steht der Stuhl fest. Diese Fixiervorrichtung ist besonders bei Aufnahmen im Schrägdurchmesser von Wichtigkeit, wenn man die Einstellung während des Vorsetzens der Platte usw. genau konserviert wissen will. Soll der Stuhl weiter oder in seine ursprüngliche Stellung

zurückgedreht werden, so geschieht dieses, nachdem man den Fußkontakt wieder heruntergedrückt hat. Sobald der Stuhl in seine Grundstellung, d. h. Rückenlehne parallel der vorderen Bleikistenwand, zurückgedreht worden ist, gibt ein unter dem Stuhl befind-

Durchleuchtung in Seitenlage

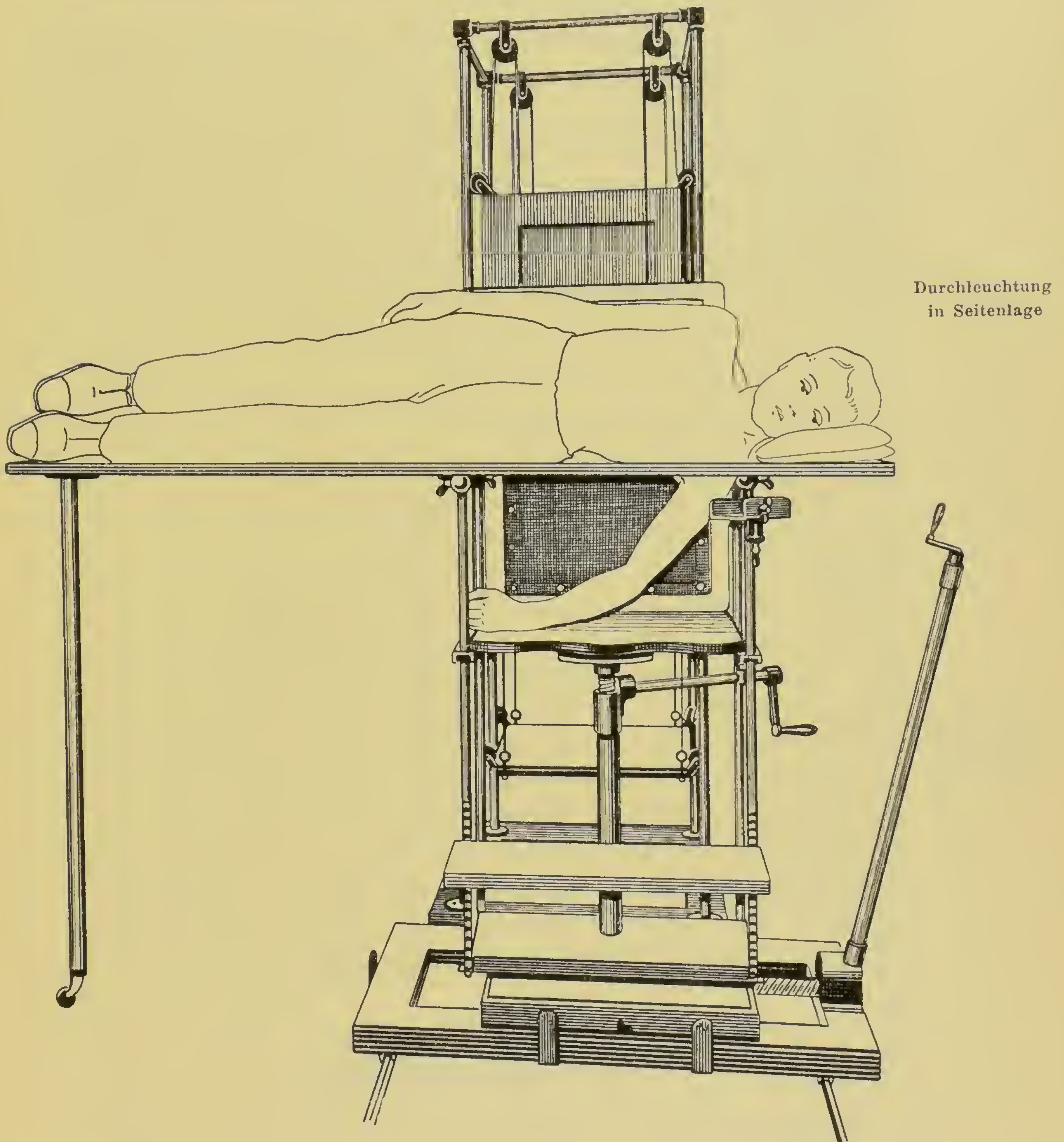


Fig. 108.

licher elektrischer Summer ein kurzes Signal. Diese Vorrichtung hat sich mir bei den Durchleuchtungen außerordentlich bewährt, denn die Beurteilung der Stellung des Patienten im Dunkeln ist meist, nachdem man denselben mehrfach hin und her gedreht hat, erschwert. Durch Nachfühlen mit den Händen oder durch Kon-

trolle mit den Augen läßt sich natürlich die Grundstellung jederzeit eruieren, jedoch ist hierzu die Einschaltung von Licht erforderlich, was einen unnötigen Aufenthalt der Untersuchung bedingt und außerdem für die gut akkommodierten Augen des Untersuchers unbequem ist.

Die mit dem Fußkontakt versehene Eisenplatte läuft wiederum auf einer mit Schienen *c* versehenen eisernen Platte *a* und zwar auf Antrieb der Spindel *d*, welche durch die Kurbel *f* betätigt wird. Selbst mit sehr schweren Patienten ist die seitliche Verschiebung spielend leicht zu bewerkstelligen. Man ist imstande sehr feine seitliche Verstellungen auszuführen, was namentlich bei Untersuchung der Lungen, des Hilus oder bei der später zu beschreibenden Orthoröntgenographie von großem Nutzen ist, da man jeden Teil des Thorax mit absoluter Genauigkeit vor die engste Blende bringen kann. Es ist schließlich noch zu bemerken, daß für

Teleröntgenographie

Distanzaufnahmen der gesamte Stuhl auf Schienen *(n)* von der in der Bleikistenblende befindlichen Röhre auf 2,50 Meter entfernt oder ihr genähert werden kann.

Da gelegentlich der Wunsch vorliegt, Herzuntersuchungen, resp. Herzmessungen oder Magenuntersuchungen in linker und rechter Seitenlage des Patienten vornehmen zu können, so ist, wie in Fig. 108 abgebildet, ein Brett *u* zur Verwendung gekommen, welches auf den Seitenlehnen des Untersuchungsstuhles befestigt wird und am Fußende durch eine, mit einem Rande versehene

Schutzvorrichtung bei Durchleuchtungen

Stange *v* gestützt wird. Den auf dem Brette liegenden Kranken, welcher seinen aufliegenden Arm zum Zweck der exakten Seitenlagerung durch eine ovale Öffnung des Brettes streckt, kann man leicht, mittels der Kurbel *f* vor der Lichtquelle hin und her führen. Zum Schutz des an der Kurbel stehenden Untersuchers dient ein abnehmbarer Metallschild (Fig. 107 *a*), der mittels einer beweglichen Klappe (*b*) direkt an das Bleiglas des Leuchtschirmes anschließt und somit einen völlig strahlensicheren Bezirk garantiert.

V. Die Kompressionsblende.

Bei den vorstehend beschriebenen Blendenapparaten handelt es sich durchweg um solche Einrichtungen, welche zwar eine größere Masse der Sekundärstrahlen abzublenden imstande sind, aber dennoch, wie aus Fig. 91 ersichtlich ist, einem Teil der von der Glaswand ausgehenden Strahlen Eintritt in den Körper gestatten. Bei den sämtlichen Apparaten ist als Blende nur eine einfache Bleitafel mit einem Diaphragma zur Anwendung gekommen. Daß

schon die Zwischenschaltung einer solchen einen außerordentlichen Einfluß auf den Kontrastreichtum der Röntgenogramme auszuüben vermag, haben wir bereits gesehen, indessen die theoretischen Erwägungen (cf. S. 234) und vor allen die praktischen Versuche haben dahin geführt, von dem einfachen Modell der tafelförmigen Bleiblende abzugehen und eine Rohrblende zu konstruieren. Ein Hauptcharakteristikum dieser Rohrblenden, die Anordnung von Röhren, Tubus, Blende und Schutzscheibe in fester Verbindung, ist zuerst von mir angegeben und benutzt worden (Fig. 109). Wie Fig. 92 zeigt, ist die Zylinderblende weit mehr noch als die Platten- oder Ringblende imstande, Sekundärstrahlungen unschädlich zu machen. Es ist gewiß nicht zu leugnen, daß ein Bruchteil der schädlichen Strahlen, wenn auch nur ein kleiner, selbst eine röhrenförmige Blende zu durch-

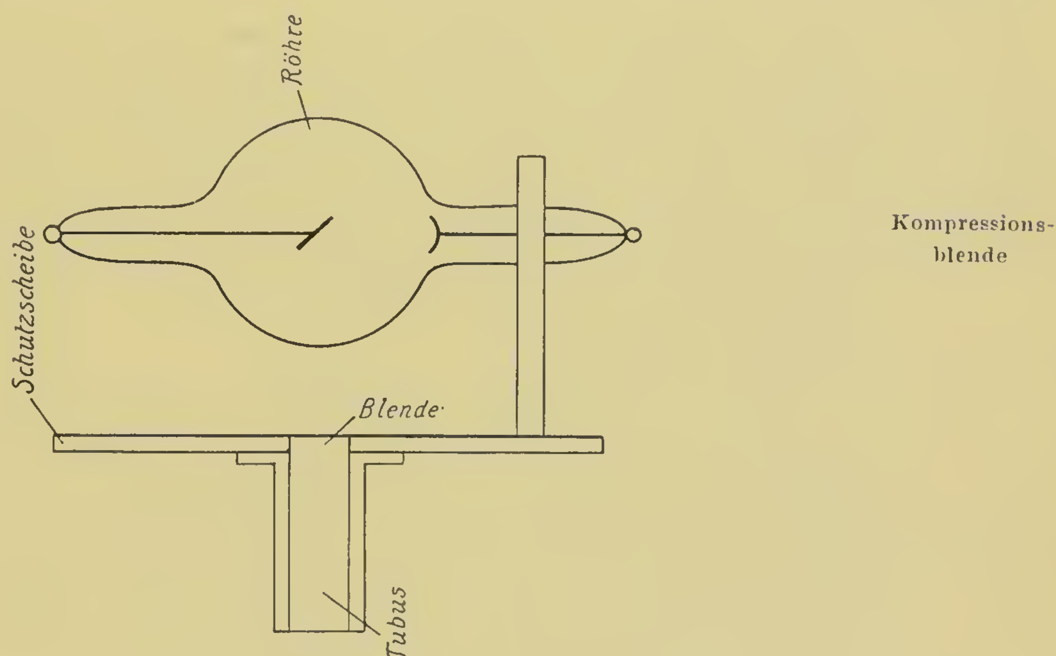


Fig. 109.

setzen vermag, er ist indessen so unbedeutend, daß wir ihn in der Praxis ruhig vernachlässigen können, ebensowenig spielen die von der Bleibekleidung des Rohres ausgehenden Sekundärstrahlen eine Rolle. Die Behauptung, daß die letzteren eine Wirkung auf die photographische Platte ausüben könnten, ist völlig haltlos, da die Sekundärstrahlen um so weniger durchdringungsfähig sind, je größer das Atomgewicht des dieselben erzeugenden Mediums ist. Die Sekundärstrahlen des Blei vermögen kaum durch ein dünnes Blatt Papier hindurchzudringen (Walter). Ein weiterer Nachteil, welcher den plattenförmigen Blenden anhaftet, ist der, daß die Röntgenstrahlen, nachdem sie das Bleidiaphragma passiert haben und bevor sie in den menschlichen Körper eindringen, nochmals die Luft durchsetzen müssen. Es unterliegt keinem

Zweifel, daß sie hier schon, wenn auch sehr viel weniger als im Körper, zur Sekundärstrahlenbildung Anlaß geben.

Es muß an dieser Stelle der gelegentlich in der Literatur geäußerten Ansicht, daß es überflüssig sei, einen Tubus als Blende zu benutzen, entgegengetreten werden.[1]) Als Grund wird meistens angeführt, daß die sogenannten Glasstrahlen, welche von der Röhrenwand ausgehen, keine Verschleierung der Platten hervorzurufen imstande seien, da sie bei einigermaßen dicken Körperteilen überhaupt nicht durch die letzteren hindurchgingen und die Platte erreichten. Eine einfache Bleiblende würde demnach denselben Nutzen schaffen wie eine Zylinderblende. Der Einwand ist nicht stichhaltig, da die Wirkung der Glasstrahlen entschieden unterschätzt wird. Im Kapitel „Schutzvorrichtungen" werden wir sehen, Glasstrahlen daß selbst auf 1,50 m Distanz die Glasstrahlen sämtliche Felder einer Härteskala vollständig zum Aufleuchten bringen können, woraus hervorgeht, daß ihnen eine verhältnismäßig bedeutende Penetrationskraft innewohnt. Wenn man wirklich ideale Bilder erzielen will, soll man jeden auch nur unbedeutend schädigenden Faktor aus der Technik eliminieren. Außerdem werden wir im folgenden sehen, daß die Unschädlichmachung der Glasstrahlen nicht der einzige, nicht einmal der wichtigste Grund für die Empfehlung von Zylinderblenden ist.

Nächst der exakten Abblendung ist die absolute Festlagerung des zu untersuchenden kompressibelen oder nicht kompressibelen Körperteils eine der Hauptaufgaben der Kompressions- Schlitzbinden blende. Bei der Tisch- und der Wandarmblende wird die Ruhigstellung des Körperteils derart bewerkstelligt, daß er entweder auf die photographische Platte aufbandagiert, mittels Sandsäcken festgelegt, oder nach Cowl, Hirschmann und Robinsohn mittels Binden, Schlitzbinden usw. durch Zug fixiert wird. Die Lagerung und Festlegung ist also unabhängig von dem zur Anwendung kommenden Blendenapparat. Daß auch trotz dieser Binden bei sorgfältigster Placierung des Patienten und bei bequemster Lagerung des zu untersuchenden Körperteils namentlich bei Schulter- und Schädelaufnahmen eine Verschiebung sehr leicht möglich ist, wird jeder aus Erfahrung bestätigen können. Selbst dann, wenn

---

Ring-kompressorium [1]) Robinsohn schreibt, daß das Ringkompressorium keine Verbesserung der Rohrblende bedeute, sondern einen durch nichts gerechtfertigten Rückschritt. Die Theorie, die zur Konstruktion dieser Blende geführt hat, sei augenscheinlich falsch. Auch in der Praxis habe sich das Ringkompressorium nicht bewährt. Es sei ihm bekannt, daß ein sehr namhafter Röntgenologe das Ringkompressorium so benützt, daß er es durch ein eingefügtes Bleirohr in eine Rohrblende verwandelt.

der Kranke den besten Willen hat, absolut ruhig zu liegen oder zu sitzen, werden doch in vielen Fällen ein leichtes Zittern oder selbst gröbere Bewegungen kaum zu vermeiden sein. Ich erinnere nur an die störenden Atembewegungen, welche die Schulteraufnahmen erschweren, und auch bei Wirbelsäulenröntgenogrammen unter Umständen die Klarheit der Bilder beeinträchtigen.

Es lag nun bei der Konstruktion der Kompressionsblende nahe, besonders auf die den Patienten nicht belästigende Feststellung Rücksicht zu nehmen und nach Möglichkeit den zu untersuchenden Körperteil derart zu fixieren, daß eine Bewegung unmöglich war. Daß dieses ohne Ausnahme für alle in Betracht kommenden Aufnahmen vollständig gelungen ist, wird die Beschreibung des Apparates, sowie die Schilderung der Technik seiner Anwendung zeigen.

Zusammenbau der Kompressionsblende

Die Kompressionsblende (Fig. 110) setzt sich folgendermaßen zusammen: Auf einem Brett *a* von ca. 72 cm Länge und 85 cm Breite erheben sich, wie die Figur zeigt, drei säulenartige Stative, b, b_1, b_2, welche hohl sind und in denen sich drei blank polierte Metallstangen c, c_1, c_2, welche auf und nieder verstellbar und mit einer Graduierung versehen sind, befinden. Zwei der Stative stehen auf der einen, das dritte auf der gegenüberliegenden Längsseite des Brettes. Die polierten, verstellbaren Metallstangen c und c_2 sind mit einem um seine Längsachse rotierenden Querstück *d* verbunden. An diesem befindet sich ein rechteckiger Rahmen *e*, welcher die Entfernung zwischen den beiden nebeneinander und dem gegenüberstehenden Stativ überbrückt.[1]) Der Rahmen ist so eingerichtet, daß er vermöge des um seine Längsachse rotierenden Stückes *d* auch in die Höhe geklappt, sogar vollkommen nach der entgegen-

---

[1]) Gelegentlich ist der Vorschlag gemacht worden, dem Rahmen größere Dimensionen zu geben, um eine ausgiebigere Seitenverschiebung des Zylinders zu erreichen. Es hat sich herausgestellt, daß die Vergrößerung angenehm aber nicht unbedingt nötig ist, da man bei richtiger Lagerung des Patienten jede Aufnahme, auch Schultern, selbst beim dicksten Menschen ohne Schwierigkeit machen kann. Will man nun die ganze Tischbreite mit dem Schlitten überbrücken, was ja eine weniger exakte Lagerung des Patienten gestatten und damit eine größere Bequemlichkeit für den Arzt gewähren würde, so läßt sich dieses, ohne zu einer ganz anderen Konstruktion greifen zu müssen, sehr viel einfacher dadurch erreichen, daß man das Grundbrett größer macht, die Säulen weiter auseinanderrückt, und den Schlittenrahmen vergrößert. Vielleicht könnte man auch den Untersuchungstisch breiter machen. Notwendig ist dieses indessen, wie gesagt, nicht, denn die Blende hat sich seit Jahren in ihrer jetzigen Form bewährt.

gesetzten Seite hinübergelegt werden kann. Außerdem befindet sich zwischen Stück d und dem rechteckigen Rahmen eine Vorrichtung, welche es ermöglicht, den ersteren um seine eigene Längsachse drehen zu können. Ist der eiserne Rahmen nach dem

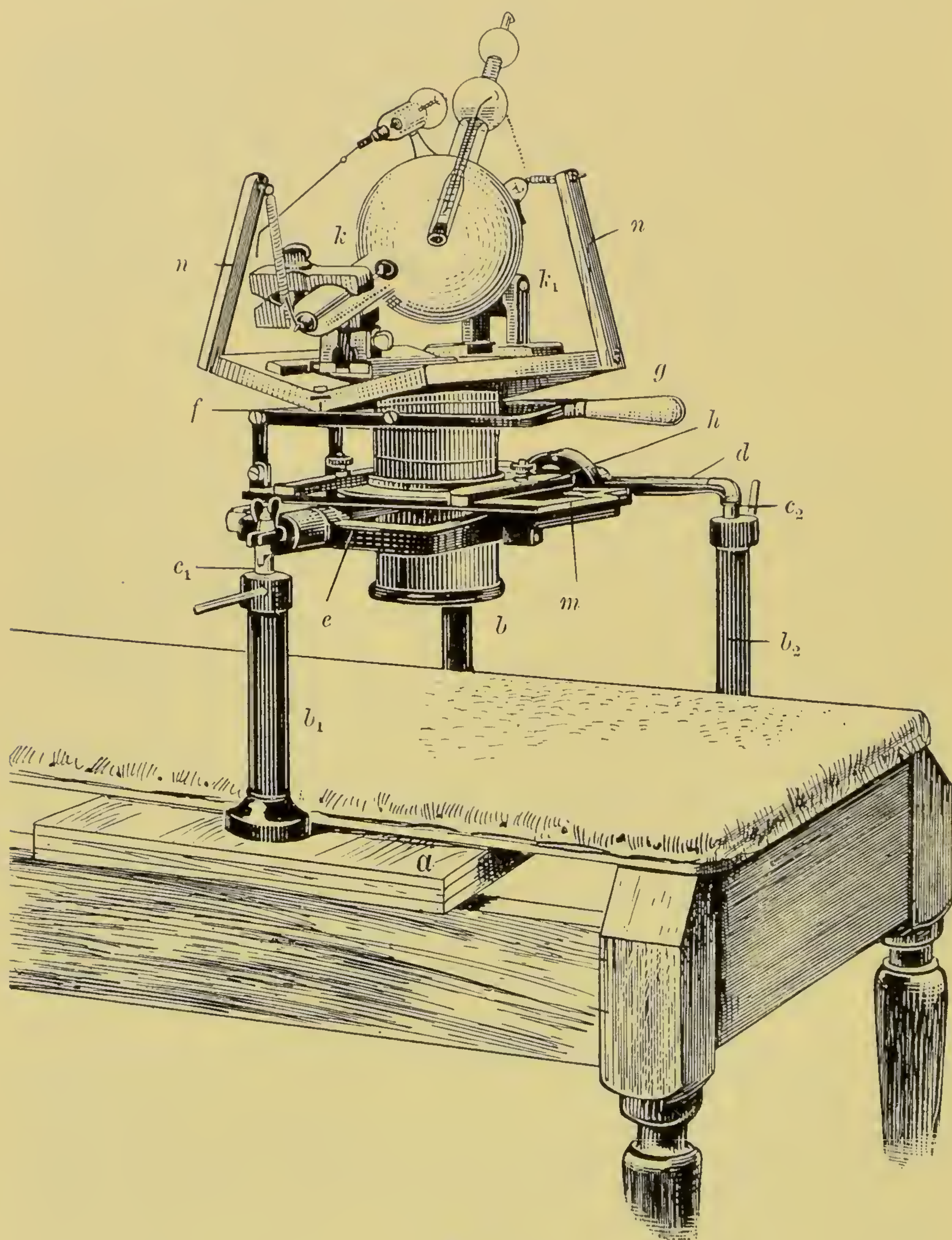


Fig. 110.

Stativ b_1 hinübergeklappt, so läßt er sich daselbst mit einer Flügelschraube fixieren, so daß dieser, gewissermaßen eine Brücke bildende Rahmen als absolut fest und unbeweglich zu betrachten ist. Er trägt das Hauptstück des Apparates, nämlich das eigent-

liehe Kompressionsrohr. Dieses ist auf einem breiten Metallring, der auf einem rechteckigen schmalen Metallrahmen *m* aufgeschroben ist, montiert. Durch den Ring hindurch ist ein 22 cm langes, glattpoliertes Metallrohr von 13 resp. 10 cm Durchmesser, welches an seinem unteren Ende einen Hartgummiring trägt, gesteekt. Es läßt sieh in dem breiten Ring bequem auf und nieder sehieben, so zwar, daß es im ganzen 9 cm herunter resp. herauf gerückt werden kann. Dieses beweglíehe, im Innern mit Blei ausgekleidete Rohr steht mit einer Hebelkonstruktion *f*, welche aus dem Bilde ohne weiteres verständlich ist, in Verbindung und kann, vermöge des Holzgriffes *g*, welcher an der langen Seite des Hebels befestigt ist, zwangsläufig in dem metallenen Ringe herauf und herunter gedrückt werden. Eine Schraube an der Außenseite des letzteren ermöglieht ein Feststellen des beweglichen Rohres in jeder beliebigen Stellung.

Dieser ganze Teil des Apparates, welcher den Metallring mitsamt dem versehieblichen Rohr trägt, steht lose auf dem anfangs beschriebenen reehteckigen eisernen Rahmen *e*. Er kann an einer beliebigen Stelle des letzteren Aufstellung finden, und auch auf ihm hin und her gesehoben werden, so daß er an jeden Platz des Rahmens mit Leichtigkeit zu bringen ist. Zwei metallene Sehienen *h* ermöglichen es, die verschiebliche, das Rohr tragende Hebelkonstruktion festzustellen.

Sehr zweckmäßig bedient man sieh zu dieser Feststellung nach Entfernung der Sehienen (*h*) und Glatthobelung des Rahmens gewöhnlicher Schrauben. Der ganze Apparat gewinnt hierdurch wesentlieh an Handliehkeit. Ist die Fixierung des Zylinders vorgenommen, so steht er mit dem Stativ in so inniger und fester Verbindung, daß das Ganze als ein einheitlicher Körper betrachtet werden kann. Die Sehwere, welche naturgemäß allen diesen Teilen anhaftet, ist erwünscht und dient dazu, dem Apparat Stabilität und Festigkeit zu gewähren.

Es ergibt sieh also aus der Beschreibung, daß die Kompressionsblende aus zwei Hauptteilen besteht, aus dem Grundstativ mit dem drehbaren und aufklappbaren rahmenartigen Blendenträger und aus dem, auf diesen Träger zu setzenden, mit Hebelkonstruktion verbundenen Blendenrohr. Auf letzteres kommt es in erster Linie bei der Benutzung des Apparates an. Von seiner Weite hängt die Größe der herzustellenden Bilder ab. Es ist daher unter spezieller Berücksichtigung der Nierensteinaufnahmen außer zwei größeren Zylindern von 19 und 13 cm Durehmesser, ein kleinerer von 10 cm Durchmesser konstruiert worden. Der 13 cm-Zylinder ist für alle in der Röntgenteehnik überhaupt vorkommenden Auf-

nahmen bestimmt. Er zeichnet eine Platte von 18/24 fast vollständig aus.

Um auch Thoraxübersichtsbilder, sowie ganz besonders auch detailreiche Magenaufnahmen machen zu können, habe ich einen Zylinder von 19 cm Durchmesser anfertigen lassen. Er gibt einen Beleuchtungskreis von ca 30 cm Durchmesser und zeichnet demnach eine Platte 30/40 cm aus.

Das Anbringen der Röntgenröhre findet bei dieser Blende im Gegensatz zu den bisher beschriebenen so statt, daß das Röhrenstativ zu einem Teil des Gesamtapparates gemacht wird. Ein viereckiges Brett (Fig. 111), welches an seiner Unterseite mit Blei beschlagen ist, hat an beiden Seiten Ausschnitte, über welche Bleikappen gesetzt sind. Erstere dienen dazu, die Hebelarme der Zylinder aufzunehmen. Wären sie nicht vorhanden, so würde man beim Emporheben des Zylinders mit den diese Bewegung ausführenden Hebelarmen das Röhrenbrett mit in die Höhe heben.

Röhren- und Blendenbretter

In der Mitte des Brettes befindet sich ein kreisförmiger Ausschnitt von solcher Weite, daß er auf die Ansatzstücke der Zylinder und der noch zu beschreibenden kastenförmigen Blende (Fig. 115) paßt. Auf dieses Loch können kreisförmige Bleiblenden von verschiedenen Durchmessern gelegt werden. Es kommt darauf an, die Röntgenröhre derart über dem Blendendiaphragma zu zentrieren, daß der Fokus senkrecht über dem Zentrum des Diaphragma steht. Ist dieses der Fall, so steht der Brennpunkt in der Längsachse des Zylinders, und die Röhre ist genau zentriert, die Zylinderlängsachse deckt sich mit der Lichtachse. Man erkennt die richtige Stellung am einfachsten daran, daß man einen Leuchtschirm unter den Zylinder legt und konstatiert, ob der entworfene Lichtkreis vollständig rund und scharfrandig ist.

Die Blendenbretter müssen außerordentlich exakt gearbeitet sein, da eine genaue Einstellung der Röhre sonst unmöglich wird. Die Verschiebung in der Längsachse der Röhre wird durch die Bewegung der beiden Klammern in einer Schlittenvorrichtung bewerkstelligt. Ist der richtige Punkt erreicht, so können sie mittels Stellschrauben festgesetzt werden. Wenn die die Röhre haltenden Klammern so konstruiert sind, daß einer ihrer Arme feststeht, der andere beweglich ist, so ist eine seitliche Verschiebung der Röhre leicht möglich, was einen nicht zu korrigierenden Fehler bedingen würde. Es ist infolgedessen nötig, die beiden Arme der Klammern so einzurichten, daß der gefaßte Röhrenhalsteil stets in der Mitte bleibt. Die beiden Arme müssen sich also beim Schließen gleichmäßig einander nähern und beim Öffnen ebenso auseinanderweichen. Dieses ist durch ein Rechts- und Linksgewinde der die Bewegung

der Klammern bewirkenden Schrauben bewerkstelligt. Arbeitet man mit wertvollen Röhren, z. B. mit Wasserkühlröhren, so empfiehlt es sich, eine größere Anzahl solcher Bretter anzuschaffen, beispielsweise eins für die mittelweiche Beckenröhre, ein zweites für die weiche Extremitätenröhre und ein drittes für die sehr weiche Handröhre. Die Röhren brauchen, wenn mehrere Bretter

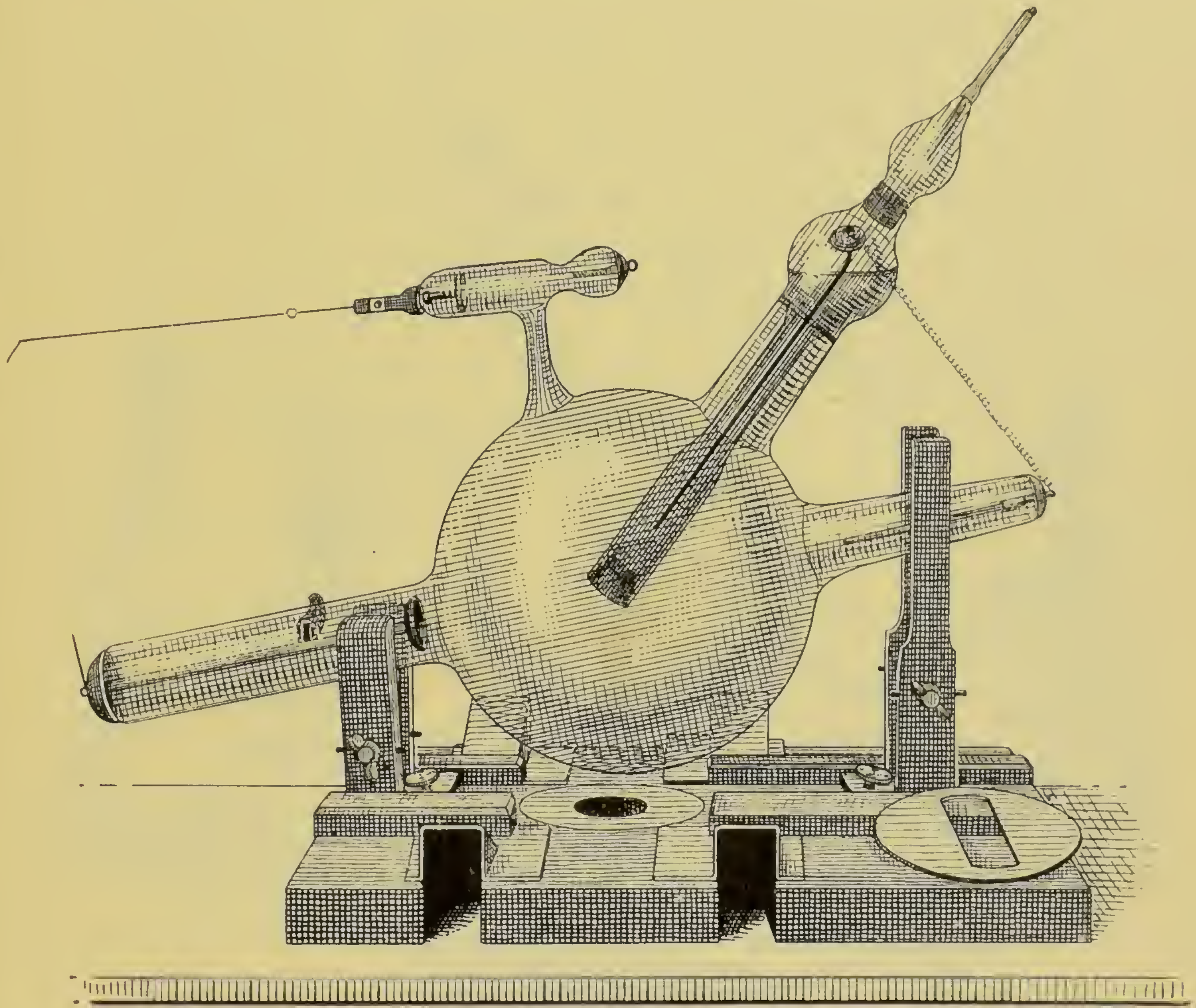


Fig. 111.

vorhanden sind, nicht aus- oder neu eingespannt zu werden, sondern sie verharren dauernd, bis zu ihrer vollständigen Unbrauchbarkeit auf den Brettern.

Das gebräuchlichste und neueste Röhrenbrett (Fig. 112) besteht aus einem an der Innenwand mit Blei ausgeschlagenen Hohlzylinder aus Holz, welcher mit seinem unteren Teil auf den Zylinder der Kompressionsblende aufgesetzt und mit einer Klemmschraube festgeklemmt wird. Auf seine obere Öffnung können Bleiblenden von verschiedener Weite gelegt werden. Um den Hohlzylinder

sind zwei im stumpfen Winkel aneinandergelegte Holzbretter befestigt, welche unten mit Bleiblech beschlagen sind, so daß nur diejenigen Strahlen, welche den Innenraum des Zylinders passieren, den Patienten treffen können.

Das Röhrenbrett besitzt eine zur Aufnahme des Kathodenhalses der Röhre bestimmte Klemme, welche auf einem um eine

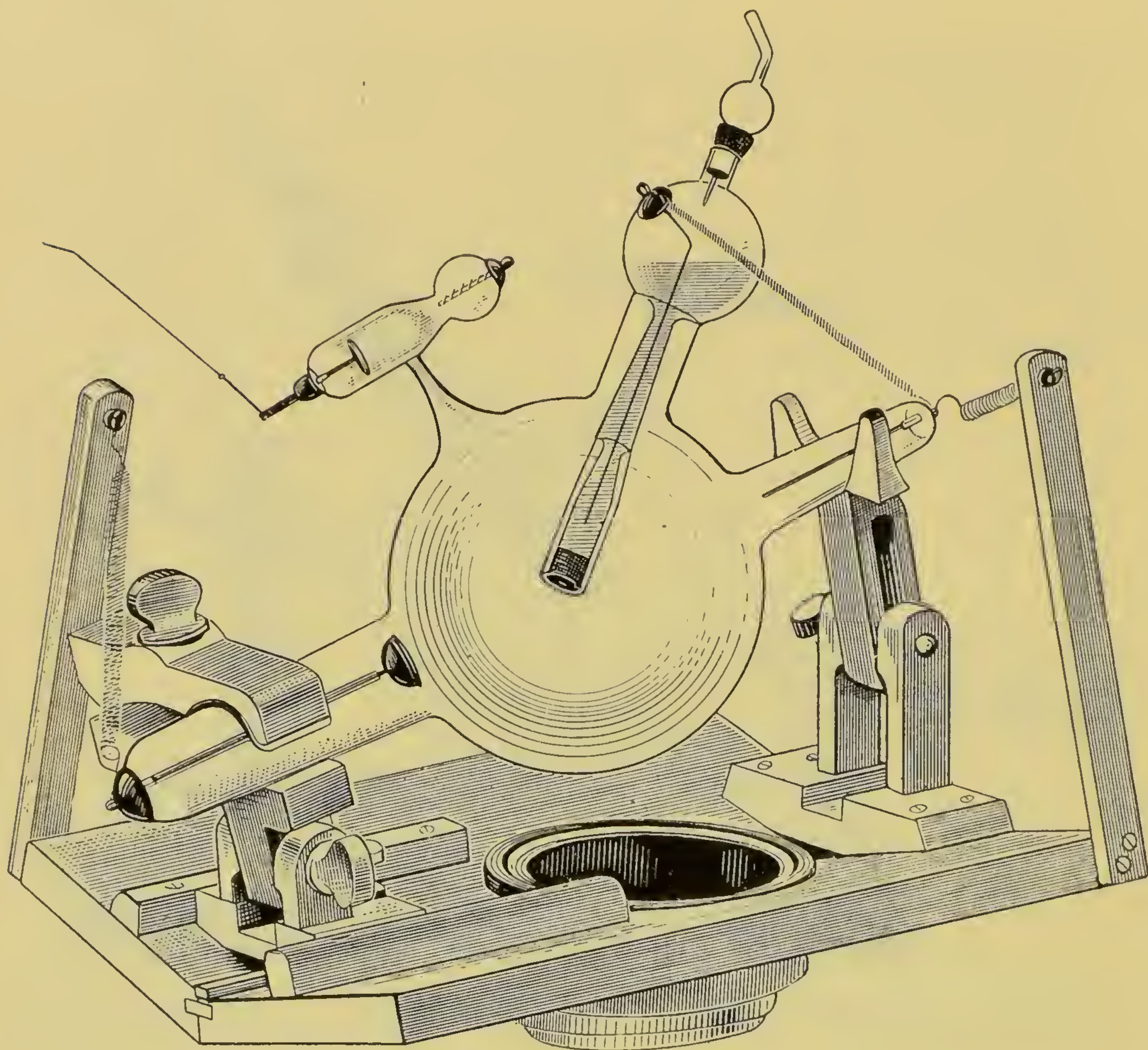


Fig. 112.

horizontale Achse drehbaren Holzstück befestigt ist und mittels einer Holzschraube fixiert werden kann. Die Klemme ist ferner in der Längsrichtung des Aufnahmebrettes verschiebbar, so daß Röhren aller Formate verwendet werden können. Auf dem Brett ist ein Träger mit Ausschnitt, auf welchen die Röhre mit dem Antikathodenhals bzw. dem Anodenhals aufgelegt wird, angebracht. Dieser Träger ist ebenfalls um eine horizontale Achse drehbar, so daß die Röhre höher oder tiefer gestellt werden kann. Endlich sind an dem Brett zwei Holzstäbe befestigt, die je eine Öse

für die Stromzuleitungen, sowie je eine Drahtspirale tragen, welche mit der Röhre zu verbinden ist.

Ist nun die letztere in richtiger Weise auf einem der vorstehend beschriebenen Bretter montiert und zentriert, so wird dieses auf den Zylinder aufgesetzt und die Kabel zugeleitet.

Legt man unter die untere Apertur des zylindrischen Rohres einen Leuchtschirm und schaltet ein, so erhält man auf ihm einen Kreis von einem Durchmesser, dessen Größe den der unteren Rohrapertur um einige Zentimeter überschreitet. Der Kreis erscheint außerordentlich hell leuchtend, während die übrigen Teile des Schirms fast vollständig dunkel sind. Es beweist dieses, daß der größte Teil der Sekundärstrahlung absorbiert ist, daß mithin fast nur Fokusstrahlen zur Verwendung kommen. Bei den Blenden ohne rohrförmigen Ansatz wird man konstatieren, daß auf dem Bariumschirm sich bei richtiger Einstellung der Röhre ebenfalls ein Lichtkreis zeigt, daß aber hier auch die übrigen Teile des Schirms mehr oder weniger fluoreszieren, woraus sich ergibt, daß noch Sekundärstrahlen durch die Blende hindurchgehen, welche ihrerseits die übrigen Teile des nicht direkt belichteten Schirms zur Fluoreszenz bringen.

Ferner wird man beobachten können, daß die Konturen des Lichtkreises bei der Kompressionsblende außerordentlich scharf markiert sind, während sie bei den flächenförmigen Blenden mehr oder wenig unscharf sind. Auch dieses Phänomen hat seinen Grund in der besseren Ausschaltung der Sekundärstrahlen bei Anwendung der zylinderförmigen Rohrblende. Je näher man die untere Öffnung des Blendenrohres dem Bariumschirm bringt, um so mehr nähert sich die Größe des Lichtkreises derjenigen der unteren Rohrapertur; je weiter man das Kompressionsrohr entfernt, um so größer wird der Lichtkreis ausfallen. Dieses hat aber seine Grenze, so daß einer unteren Rohrapertur von z. B. 13 cm ein Lichtkreis von ca. 15—19 cm entspricht. Es ist indessen aus der Figur Nr. 92 ersichtlich, daß durch Anwendung eines zylinderförmigen Rohres allein noch nicht der höchste Grad der Abblendung zu erreichen ist, sondern daß es erforderlich ist, auf den oberen Teil des Kompressionsrohres eine Blende zu legen, wie in Fig. 111 dargestellt ist. Diese Blende, welche für das eben geschilderte Kompressionsrohr (19 cm) einen Durchmesser von $7^1/_2$ cm, für (13 cm) einen Durchmesser von $4^1/_2$ cm und für das Rohr (10 cm) einen solchen von 3 cm hat, wird auf das Holzbrett und zwar auf die vorhin erwähnte kreisrunde Öffnung aufgelegt und daselbst durch eine Klammer gehalten. Die Größe dieses Bleidiaphragma muß so gewählt werden, daß der Strahlenkegel, welcher die untere

Rohrapertur verläßt, nicht durch die obere Blende eingeengt wird, daß er vielmehr am Ende des Kompressionsrohres genau den gleichen Umfang wie die untere Apertur desselben hat. · Das Diaphragma wird also eine für jedes Kompressionsrohr bestimmte, nicht zu verändernde Größe haben müssen, vorausgesetzt, daß die gleiche Röntgenröhrengröße zur Anwendung kommt. Fehlt die obere Blende auf dem Zylinder, so sieht man um den auf dem Leuchtschirm entworfenen hellen Lichtkreis einen etwa fingerdicken, weniger hellen und weniger scharf konturierten Beleuchtungsring verlaufen. Dieser hat seine Ursache in der nicht genügend am oberen Ende des Rohres abgeblendeten Sekundärstrahlung. Sobald man eine Blende, welche bezüglich ihrer Weite den geschilderten Anforderungen genau entspricht, auf das obere Ende des Zylinders legt, so verschwindet der untere diffuse Lichtring und der eigentliche Belichtungskreis erscheint in voller Schärfe. Aus diesen Versuchen geht die Notwendigkeit der oberen Bleiblende hervor. Ist die Röntgenröhre infolge ungenauer Einstellung nicht absolut zentriert, so wird der untere Belichtungskreis nicht in seiner vollen Rundung auf dem Bariumschirm zum Vorschein kommen, sondern ein Teil desselben wird fehlen. Entsprechend der Größe des fehlenden Abschnittes wird die Röhre oben zu verschieben sein.

Diaphragma für die Kompressionsblende

Wer auf seinen Apparat eingearbeitet ist, wird kaum in die Lage kommen, Fehler zu machen. Es ist indessen praktisch, sich von Zeit zu Zeit, namentlich dann, wenn man verschiedene Röhrenmodelle benutzt, durch Unterlegen des Leuchtschirmes über die Form des Belichtungskreises zu vergewissern.

Es ist klar, daß die Röhren, je nach den Modellen, die zur Benutzung kommen, eine besondere Einstellung und wegen der verschiedenen Entfernung der Antikathode von der Glaswand auch verschiedene Blendenweiten auf dem oberen Teil des Zylinders verlangen.

Für den vorstehend beschriebenen Apparat sind, wie auseinandergesetzt, drei durch Hebelkonstruktion verstellbare Zylinderblenden konstruiert worden, welche ohne weiteres ausgewechselt werden können. Die erste vom Durchmesser 19 cm und der Länge 22 cm, die zweite vom Durchmesser 13 cm und der Länge 22 cm, die dritte vom Durchmesser 10 cm und der Länge 22 cm. Der Belichtungskreis des Kompressionsrohres (19 cm) beträgt etwa 30 cm im Durchmesser, der des Kompressionsrohres (13 cm) beträgt im Mittel 15—18 cm im Durchmesser, derjenige des Rohres (10 cm) 12—14 cm. Hieraus ergibt sich ohne weiteres, daß für alle Aufnahmen mit den großen Kompressionsrohren die Platten vom Format 30/40 oder 18/24 ausreichen, daß ferner bei allen

Aufnahmen mit dem kleinen Kompressionsrohr die Platten vom Format 13/18 genügen.

Eine Vereinfachung der Zentrierung der Röhre auf dem Röhrenbrett wird in folgender Weise erzielt. Auf einen kleinen Wandbord (Fig. 113) wird ein messingener Ring *a*, welcher genau so groß ist, daß das Röhrenbrett mit seinem kreisförmigen Ausschnitt über ihn

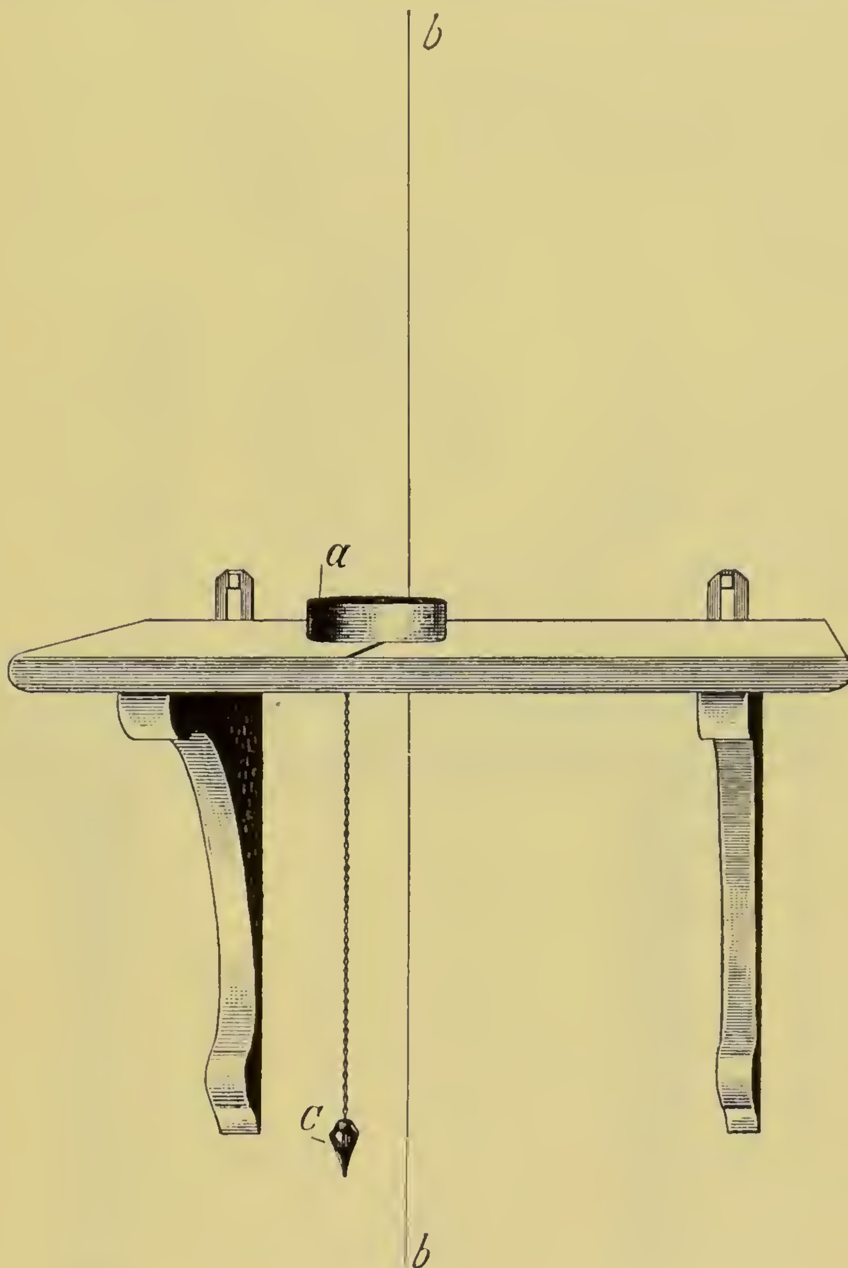


Fig. 113.

Zentrierungsvorrichtung für die Röhren

gesetzt werden kann, befestigt. Parallel zu den Seitenrändern des Bordes wird eine Linie durch die Mitte des Messingringes gezogen. Dort, wo diese die hintere Kante des Bordes berührt, wird eine senkrechte (*b*) auf ihr errichtet und durch einen Strich an der Wand markiert. Am anderen Endpunkt der durch die Mitte des Ringes gehenden Linie wird ein kleines Metallpendel (*c*) aufgehängt. Nun wird, wie aus Fig. 114 ersichtlich, das mit der Röhre montierte Brett

mit seinem Ausschnitt über den Messingring (*a*) gesetzt. Ist die Röhre genau über dem Diaphragma zentriert, so wird, wenn man durch Visieren das Pendel und die Wandlinie zur Deckung bringt,

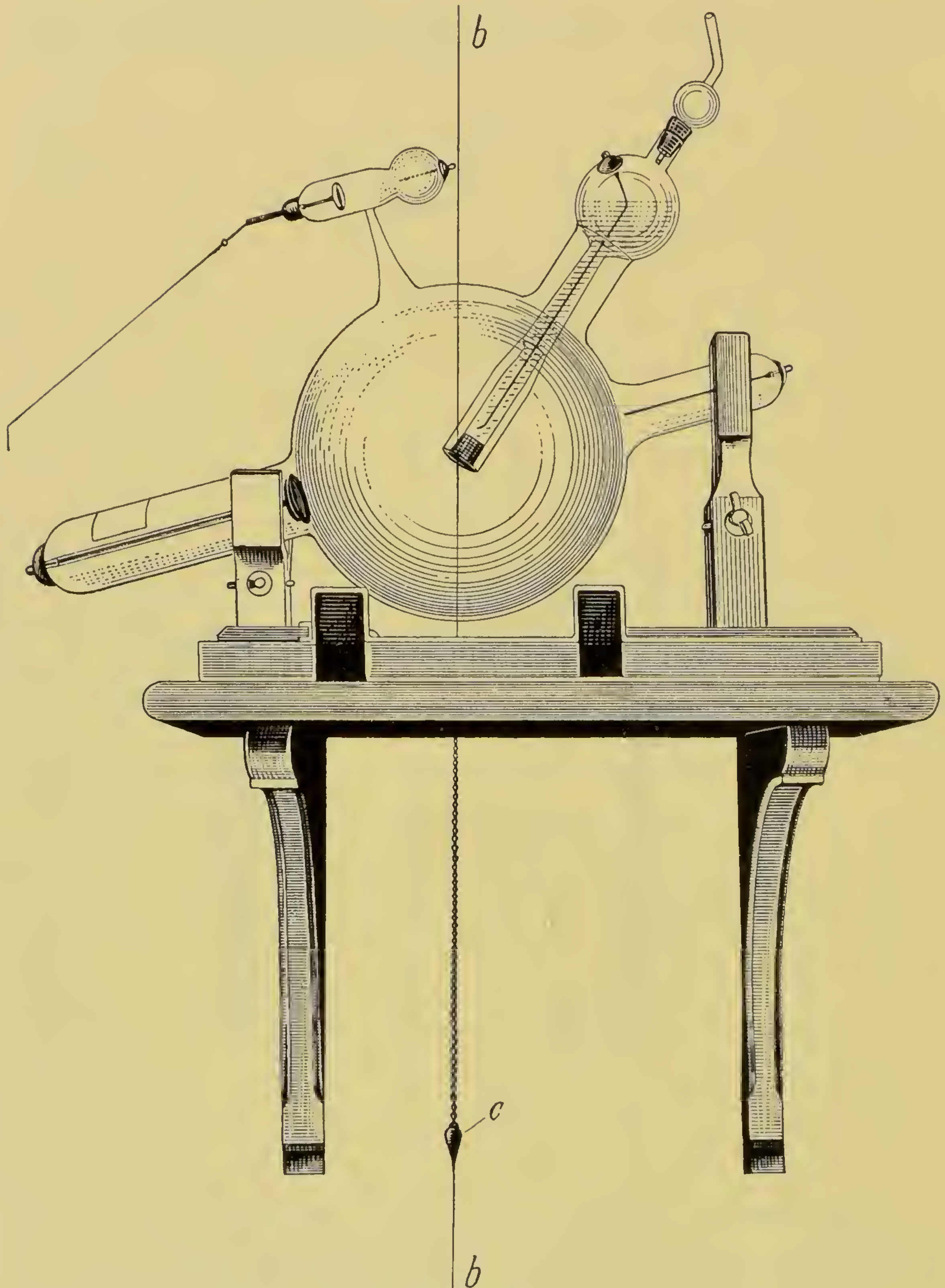


Fig. 114.

die Fortsetzung der Wandlinie nach oben durch die Mitte der Antikathode gehen. Liegt der Brennpunkt auf der Mitte der letzteren, so ist die Röhre genau zentriert eingestellt, liegt er dagegen nicht

in der Mitte, wovon man sich vorher zu überzeugen hat, so ist dementsprechend die Röhre etwas zu verschieben. Die Verschiebung erfolgt entweder durch Bewegung der Röhre in den Klammern selber, oder diese werden in den dazu vorgesehenen schlittenförmigen Schienen verschoben.

Die mit einem der Kompressionsrohre belichtete Platte zeigt nach der Entwickelung bei hell bleibenden Ecken einen schwarzen Kreis. Man kann sich bei jeder derartigen Aufnahme davon überzeugen, daß die nicht von dem Strahlenkegel betroffenen Partien der Schicht glasklar sind, was ein Zeichen dafür ist, daß keine oder nur geringe Sekundärstrahlung stattgefunden hat, da andernfalls auch die Randpartien, d. h. die nicht belichteten Teile der Platte einen gewissen Grauschleier aufweisen würden. Selbstverständlich ist dieses nur dann der Fall, wenn der auf der Platte liegende Köper nicht allzu dick ist. Bei starken Körperteilen, wie z. B. bei korpulenten Nierensteinkranken, wird ein derartig scharf abgesetzter Ring nicht zu erzielen sein, vielmehr werden die Negative auch in ihren nicht direkt getroffenen Partien infolge entogener Sekundärstrahlung Belichtungsspuren zeigen. Immerhin ist aber auch dann noch der Kreis deutlich abgehoben.

Man kann die Kompressionsblende bei den verschiedensten Körperdicken anwenden. Bei starken Körperteilen werden die verschiebbaren Eisenstangen c, c_1, c_2 in einer gewissen Höhe festgestellt. Diese muß so gewählt werden, daß bei völlig in die Höhe gestelltem Kompressionsrohr der untere Rand der Zylinderapertur sich 3 cm oberhalb der Körperoberfläche befindet, so daß Platz für das später dazwischen zu legende kompressibele Wattekissen bleibt. Ist diese Einstellung, welche ich die „Grobe“ nenne, vollendet, so folgt die „Feine“ durch Verschiebung des Kompressionsrohres. Man visiert durch den Zylinder hindurch die zu untersuchende Stelle. Alles das, was man überblickt, sogar einige Zentimeter mehr in der Peripherie, erhält man auf der Platte. Ist auch diese Einstellung exakt vollzogen, so wird das Kompressionsrohr festgestellt und mittels des Hebels auf seine Unterlage, d. h. auf den zu untersuchenden Körperteil hinuntergedrückt. Nach der Konstruktion des Rohres haben wir die Möglichkeit, im ganzen 8 cm tief zu komprimieren. Diese vollen 8 cm werden indessen wohl selten zur Anwendung kommen, höchstens dann, wenn es sich um Untersuchungen auf Nierensteine oder von Lendenwirbelsäulen handelt. Im allgemeinen wird nur ein geringer Kompressionsgrad von 2—3 cm erforderlich sein, wodurch schon die von nicht sachkundiger Seite gemachte Behauptung, die Kompression könne dem Patienten schaden, widerlegt wird.

Kompressibele Zwischenlagen. Wattekissen

Die Kompressionsblende eleminiert die Weichteile nicht nur in vertikaler, sondern bei richtiger Wahl des Zylinders auch in horizontaler Richtung. Benutzt man enge, dem Zylinder aufliegende Blenden, so kann man z. B. bei Extremitäten die Skelettkontur auf das exakteste herausblenden. Es ist nicht zu empfehlen, die Weichteile völlig abzublenden, da hierdurch unter Umständen Exsudate oder Abszesse in der Muskulatur usw. sich der Diagnose entziehen würden. Legt man zwischen untere Rohrapertur und Körperteil ein mit Verbandwatte gefüttertes Kissen (32 cm lang, 14 cm breit, 6 cm dick), so wird der Druck nicht einmal schmerzhaft oder unangenehm empfunden. Ein Wackeln oder Zittern ist mit Sicherheit ausgeschlossen. Wir werden bei der Besprechung der einzelnen Aufnahmen hierauf noch des weiteren zurückkommen.

Kissenkompression

Die Kissen dienen nicht allein dem Zwecke, den Druck schmerzlos zu gestalten, sondern besonders auch der Erzeugung eines den Körperteil gewissermaßen umgreifenden, elastischen Druckes, wie wir ihn beispielsweise bei Aufnahmen des Handgelenkes in Seitenlage gebrauchen. Man darf auf diese Kissen bei keiner Aufnahme mit Ausnahme bei der Abdominalaufnahme verzichten; es empfiehlt sich oft mehrere solcher Kissen über- und nebeneinander zu packen je nach der Konfirguration des zu untersuchenden Körperteils. Diese ebenso einfache wie wirksame Kissenkompression mittels der Zylinder, auf die ich früher schon häufig hingewiesen habe, ist merkwürdigerweise nicht überall richtig gewürdigt worden, so daß es sogar zur Konstruktion von besonderen Zylindern (Faszikelblende nach Robinsohn) gekommen ist, welche kompliziert und weniger wirksam wie die gewöhnlichen Zylinder mit Kissenzwischenlage sind. Das Bild wird, wenn die Kissen mit reiner Verbandwatte gefüllt sind, nicht im geringsten beeinträchtigt.

Eine Berührung der unteren Zylinderapertur in ihrem ganzen Umfang mit dem zu untersuchenden Körperteil findet nicht immer statt. So berührt z. B. das Rohr bei Tibiaaufnahmen in senkrechter Stellung die Extremität nur in zwei, bei Schrägstellung sogar nur in einem Punkt. Dieses ist indessen absolut kein Nachteil, da durch Zwischenlage geeignet geformter prall gefütterter Polster der Körperteil in seiner ganzen Ausdehnung festgelegt wird, so daß Bewegungen, Zittern und dergl. ausgeschlossen sind.

Bei Untersuchungen der Nieren, Blase, Lendenwirbelsäule und Kreuzbein wird nach den Angaben von Sträter ein Luffaschwamm in die untere Rohrapertur eingelegt. Die auf diese Weise mehr in die Tiefe gehende Kompression bewirkt in vorzüglicher Weise eine Verdrängung störender Weichteile (Darm) und gibt die Möglichkeit Nieren- und Skelettbilder von unübertroffener Schönheit zu erzielen.

Der bisweilen gemachte Einwand, daß die Kompression den Patienten schädigen könne, ist, wenn die Kompression von einem sachverständigen Arzte vorgenommen wird, hinfällig, da man den Grad der Pressung auf das feinste einstellen und regulieren kann.

Gummiball- und Binden-kompression

Die Kompression durch Binden oder Gummibälle ist viel weniger schonend, da man ihre Wirkung nicht annähernd so genau dosieren und einstellen kann wie den mit oder ohne Luffaschwamm versehenen Zylinder. Auch stehen diese Aufnahmen den mit Kompressionsblende gemachten an Schärfe und Kontrastreichtum bei weitem nach. Unter den Tausenden von mir gemachten Kompressionsblendenaufnahmen habe ich bis heute keine Schädigung eines Patienten erlebt. Das Gleiche berichten Holzknecht und Kienböck (Röntgenkalender 1909).

Schädigungen i. F. der Kompression

Bei der Lendenwirbelsäulenaufnahme, besonders aber bei den Aufnahmen von Frakturen der oberen und unteren Extremität, ist es oft störend, daß bei dem Gebrauch des Zylinders (13 cm) nur ein verhältnismäßig kurzes Stück der Lendenwirbelsäule, resp. der Extremitäten auf die Platte kommt. Handelt es sich um eine starke Schwellung, z. B. bei einer Unterschenkelfraktur, so ist es nicht immer leicht, durch die Palpation genau die Stelle des Knochenbruches festzustellen, besonders dann nicht, wenn es sich um Schräg- oder Spiralfrakturen handelt. Benutzt man Zylinder (13 cm), so wird es unter Umständen passieren, daß man die Frakturstelle nicht in die Mitte des Bildes, sondern an den Rand des letzteren oder überhaupt nicht mehr auf dasselbe bekommt. Es bleibt dann nur eine Wiederholung der Aufnahme in korrigierter Stellung übrig. Um dem vorzubeugen, habe ich nach dem Prinzip der Zylinderblende eine Kastenblende, welche in Fig. 115 dargestellt ist, konstruiert. Der Kasten ist 21 cm hoch, $9^1/_2$ cm breit und 21 cm lang und besteht aus Messing, welches an der Innenseite mit Blei ausgekleidet ist. Am unteren Ende dieses Metallkastens befindet sich eine Hartgummibekleidung, welche wie auch die Wattekissen dazu dient, das Übertreten von Elektrizität in den Körper des zu Untersuchenden zu verhindern. Der Kasten ist genau wie die Zylinder auf einem Rahmen montiert und kann durch eine Hebelkonstruktion, wie aus der Figur ohne weiteres ersichtlich ist, nach oben und unten verschoben werden. Eine Arretierung sorgt dafür, daß man ihn in jeder beliebigen Höhenstellung fixieren kann. Auf das obere offene Ende ist ein Holzdeckel fest aufgesetzt, welcher einen Metallring trägt, dessen Dimension so groß ist, daß das die Röhre tragende Brett auf denselben aufgesetzt werden kann. Statt einer Rundblende, wie sie bei den Zylindern erforderlich ist, und welche in das die Röhre tragende Brett einge-

Kastenblende

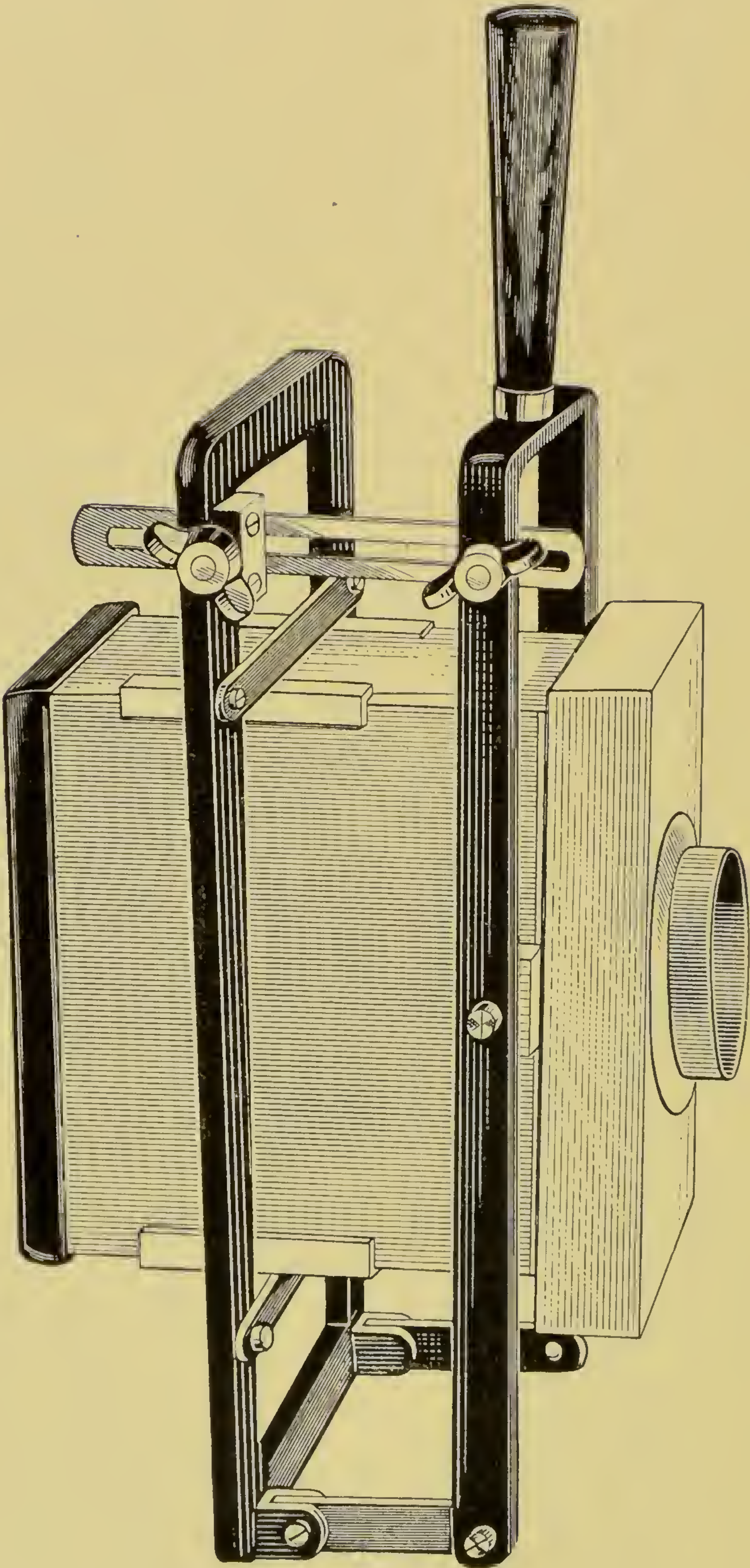


Fig. 115.

legt wird, benutzt man Längsblenden von 2, $2^1/_2$ und $3^1/_2$ cm Querdurchmesser. Eine solche ist in Fig. 111 abgebildet. Der Durchmesser dieser Blende ist nach demselben Prinzip berechnet wie derjenige der Rundblenden für die Zylinder. Das Zerlegen, z. B. einer Femuraufnahme in einzelne Serien von Röntgenogrammen hat mit Einführung dieser parallelepipedischen Kastenblende ihr Ende erreicht. Man ist imstande, sich mit ihr leicht über den Sitz einer Affektion der Knochen, z. B. Sequester, zu orientieren. Sie vereinigt ferner in vollkommener Weise die Vorzüge der sogenannten „röhrenständigen“ und „objektständigen“ (Holzknecht) Blenden. Wir können daher die „Winkelblenden“, welche für diejenigen, welche die Kompressionsblende nicht besitzen, von Nutzen sind, völlig entbehren.

Kompressionsblenden-Tisch

Bei den ersten in der Praxis eingeführten Modellen, der Kompressionsblende, war es ein nicht zu bestreitender Übelstand, daß beispielsweise bei der Untersuchung auf Nierensteine die Verschiebung des Patienten in seiner Längsachse unter der Blende mit Schwierigkeiten verknüpft war. Man hat sich, um verschiedene Körperteile unter den Zylinder zu bringen, bisher damit geholfen, die Matratze, auf welcher der Kranke liegt, nach dem Kopf- oder Fußende zu ziehen. Eine Verschiebung der Blende bei festliegenden

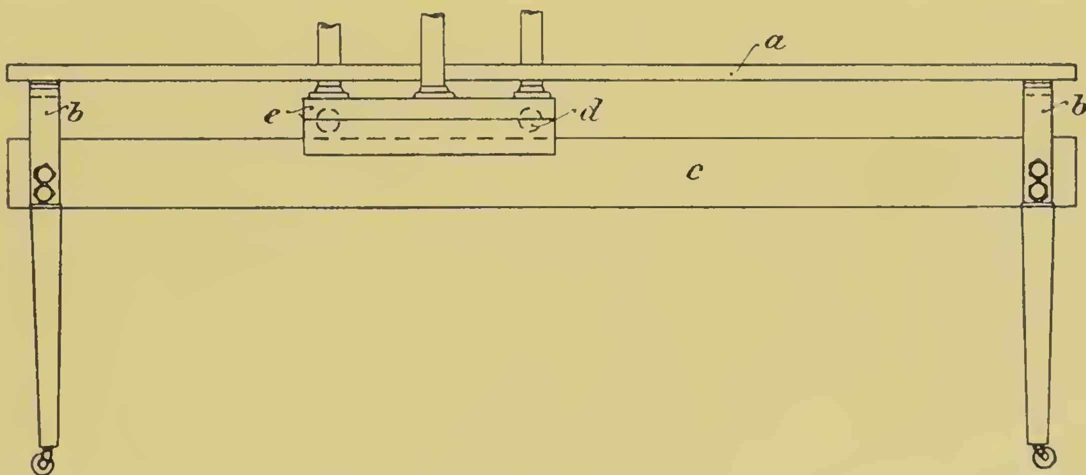


Fig. 116.

Patienten war indessen nur unvollkommen und in den meisten Fällen gar nicht möglich, während die Breitenverschiebung leicht durch Verrücken des Zylinders auf dem ihn tragenden Querarm des Gestells bewerkstelligt werden konnte. Um auch die Längsverschiebung bei festliegenden Patienten praktischer zu gestalten, habe ich die nachstehende Einrichtung getroffen.

Vor allen Dingen ist es bei dieser Anordnung möglich, den Patienten sorgfältig zu lagern und die Platte, ohne daß man dabei

durch das Kompressionsblendenstativ behindert wird, unter die zu untersuchende Partie zu bringen. Auch das Hinaufsteigen des Kranken auf den Tisch, sowie sein Heruntersteigen ist dadurch, daß man die Blende an das Fußende schieben kann, bequem gestaltet. Ist der Patient richtig gelagert und die Platte genau untergelegt, so wird das Kompressionsblendenstativ vom Fußende über den zu untersuchenden Körperteil hinübergeschoben.

Die beifolgende Zeichnung (Fig. 116 und 117) gibt eine Darstellung dieser Verbesserung. Die Platte *a*, auf welcher der zu untersuchende Patient liegt, wird von eisernen Bügeln *b* getragen, welche seitlich an den Rahmen *c* des Tisches oder an der Tischplatte *c* selber befestigt sind. Unterhalb der Platte *a* ruht auf dem Rahmen *c* oder auf der Tischplatte *c* die mit Rollen *d* versehene Platte *e*, in welcher die drei Säulen befestigt sind, von denen der Kompressionsblendenrahmen getragen wird. Das Gestell für die Blende wird bei der Verschiebung durch die seitlichen Bretter *f* geführt. Die Form der Bügel *b* ist eine solche, daß das Gestell möglichst nahe bis zu dem Ende des Tisches gerückt werden kann. Anstatt die Kompressionsblende mit Rollen zu versehen, kann man sie natürlich auch einfach auf der Unterlage gleiten lassen, wie die Figuren im Kapitel „Schulteruntersuchung“ zeigen, und ebenso die Bewegung anstatt von der Hand durch eine Schraubenspindel bewirken lassen. Die Anordnung ist also eine solche, daß die Kompressionsblende, welche in einer gewissen Höhe über der Tischplatte an einem Gestell befestigt ist, eine sichere Unterstützung hat, die Platte, auf welcher der Patient liegt, jedoch für diesen Zweck nicht in Anspruch genommen wird, sondern vollkommen frei bleibt.

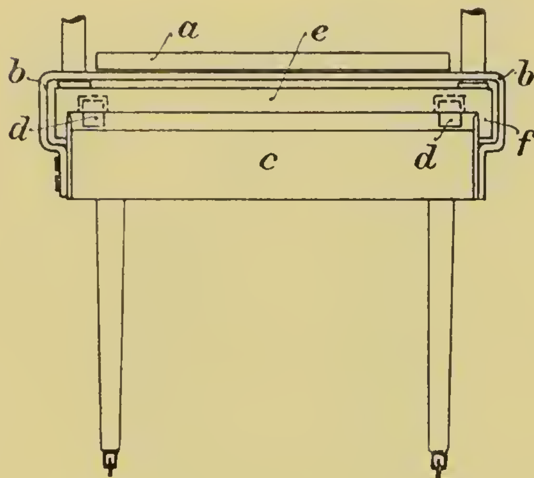


Fig. 117.

Es geht aus der vorstehenden Schilderung hervor, daß jede mit diesem Apparat gemachte Aufnahme auch gleichzeitig annähernd mit dem senkrechten Strahlenbündel hergestellt ist, da nur ein solches die verschiedenen Diaphragmen passiert. Demnach ist nicht zu befürchten, daß bei diesen Röntgenogrammen durch perspektivische Verzeichnungen irgendwie erhebliche Fehler ge-

macht werden, denn unter allen Umständen und bei jeder Aufnahme befindet sich der Mittelpunkt des zu untersuchenden Körperteiles auch genau senkrecht unter dem Fokus der Röhre, d. h. in der Lichtachse. Es ist dieses bei allen Gelenkaufnahmen, bei denen so häufig durch falsche Einstellung Irrtümer in der Diagnose entstehen, von Bedeutung, ferner z. B. bei Ankylosen der Wirbelsäule in Fällen, wo der Zwischenwirbelscheibenspalt durch Teile des benachbarten Wirbels überdeckt ist.

Ein weiterer Vorteil der Kompressionsblende ist der, daß alle Aufnahmen bei gleichem Abstand der Röhre von der Körperoberfläche, resp. von der photographischen Platte gemacht werden. Gleicher Röhrenabstand von der Körperoberfläche Die Entfernung von der letzteren variiert natürlich, je nachdem der Körperteil dick oder dünn ist. Der Abstand der Röntgenröhre (gleiches Modell vorausgesetzt) bis zur Körperoberfläche variiert dagegen niemals. Es ist dieses auch von dem Gesichtspunkte aus ein großer Vorteil, daß Röntgenverbrennungen so leicht nicht vorkommen werden, da der Abstand ein zu großer ist und somit bei Verbrennungen bei Aufnahmen den üblichen Expositionszeiten Verbrennungen mit Sicherheit zu vermeiden sind. Ich habe bei meinen sämtlichen Kompressionsblendenaufnahmen bisher keine Verbrennung erlebt.

Nächstdem hat diese Blende den Vorzug, daß alle Bilder Gleiche Bildgröße stets die gleiche Größe haben. Man wird im allgemeinen Platten vom Format 18/24 oder 13/18 brauchen und darauf fast sämtliche Aufnahmen machen können. Handelt es sich um Körperteile, welche die Größe dieser Platten überschreiten, so werden zwei Röntgenogramme, welche sich gegenseitig ergänzen, hintereinander gemacht oder bei Übersichtsaufnahmen der größte Zylinder (19 cm) in Anwendung gebracht. Es ist viel zweckmäßiger, von einem größeren Körperteil zwei Aufnahmen mit Kompressionsblende, als eine ohne dieselbe zu machen, denn bei der ohne Kompressionsblende gemachten, befindet sich doch nur ein kleiner Teil in der Lichtachse, während der übrige Teil des Körpers perspektivische Verzeichnungen erleidet (z. B. Wirbelsäule).

Für den Plattenkonsum ist es von außerordentlicher Bedeutung, Plattenkonsum wenn man sich auf die genannten beiden Formate beschränken kann, da der Verbrauch von größeren Platten 24/30, 30/40 und 40/50 bedeutende Unkosten verursacht.

Die Anwendung der Kompressionsblende ist keine beschränkte, da nur wenige Aufnahmen in der Praxis vorkommen, welche nicht mit ihr hergestellt werden können.

Der Hauptzweck dieser Methode ist, Bilder von höchster Strukturschärfe Strukturschärfe zu erhalten. Es wird dieses, wie schon aus den theoretischen Erwägungen ohne weiteres hervorgeht, auch

fast in allen Fällen möglich sein, denn es gibt wohl wenige Teile des Skelettes, welche keine Strukturbilder geben. Als solche möchte ich die Röntgenogramme der Brustwirbelsäule, soweit letztere durch das Herz gedeckt sind, erwähnen. Alle anderen wie Kopf-, Schulter-, Hüftgelenk-, Lendenwirbelsäulenaufnahmen usw. zeigen Strukturdetails, welche sich häufig mit den von Knochenpräparaten gewonnenen Bildern vergleichen lassen. Die Bildverbesserung ist eine außerordentliche und die Technik eine verhältnismäßig leichte. Ich möchte sagen, daß für denjenigen, der gewohnt ist, mit dieser Blende zu arbeiten, hiermit die ganze Mühe der Röntgenographie auf die Hälfte vermindert wird, denn eigentlich bedarf es nur der genauen Kenntnis der erforderlichen Röntgenröhre und einer exakten Einstellung des betreffenden Körperteiles, um Bilder zu erzielen, welche auch den höchsten Anforderungen der Technik gerecht werden. Hiermit will ich indessen nicht behaupten, daß es möglich wäre, nun ohne weiteres die Aufnahme dem Personal zur Erledigung zu überlassen, denn die Einstellung, die Röhrenbeurteilung, und die Belichtungszeit, wird immer der Erfahrung und der Kenntnis eines gut vorgebildeten Untersuchers überlassen bleiben müssen. Die Art und Weise, wie der zu untersuchende Körperteil unter der Blende gelagert wird, muß stets auf den vorliegenden anatomischen Verhältnissen basiert sein. Es sind dieses Punkte, welche bei der speziellen Anwendung der Blenden noch näher besprochen werden sollen.

Die Technik der Kompressionsblendenaufnahmen empfiehlt sich, um zu resumieren, aus folgenden Gründen:

1. Ihre Anwendung erfordert weniger Übung und Technik als irgendein anderes der Abblendung dienendes Instrument, da sie sich für alle in Betracht kommenden Aufnahmen gleich gut eignet.

2. An die Toleranz des Patienten werden keine Ansprüche gestellt, da der Druck sich genau dosieren und durch geeignete Zwischenlagen dem zur Untersuchung kommenden Körperteil exakt anpassen läßt.

3. Der relativ hohe Preis hat der ausgedehnten Anwendung bisher nicht entgegengestanden. Hierfür spricht die große Verbreitung, welche das Instrument im In- und Auslande gefunden hat.

4. Sämtliche Untersucher werden Bilder herstellen, welche alle unter den gleichen Bedingungen aufgenommen worden sind, denn die Stellung der Röntgenröhre ist ein für allemal die gleiche und ergibt sich ohne weiteres aus den Bildern selbst, d. h. der für die Untersuchung in Be-

tracht kommende Körperteil befindet sich genau senkrecht unter dem Fokus der Röhre.

5. Der Abstand der Röntgenröhre von der Körperoberfläche ist bei allen Aufnahmen stets der gleiche und so bemessen, daß Verbrennungen so gut wie ausgeschlossen sind.

6. Alle Bilder mit Ausnahme der Übersichtsaufnahmen erfordern nur zwei Plattenformate 13/18 und 18/24.

7. Es findet eine Ersparung an Plattenmaterial statt, da große Formate nur noch bei Übersichtsaufnahmen in Betracht kommen.

8. Die höchste Schärfe der Struktur ist bei richtiger Anwendung des Apparates und bei guter Auswahl der Röhre mit absoluter Sicherheit zu erzielen.

9. Der zu untersuchende Körperteil wird derartig festgelegt, daß eine Verschiebung, sei sie willkürlich oder unwillkürlich, fast ganz ausgeschlossen erscheint. Man kann daher sagen, daß die absolute Fixation der Körperteile bei allen in der röntgenographischen Praxis vorkommenden Aufnahmen mit keiner anderen Methode mit solcher Sicherheit gewährleistet wird, wie mit der Kompressionsmethode. Ganz besonders gilt dieses auch für die Kinderpraxis.[1])

Es ist besonders hervorzuheben, daß diese 9 Eigenschaften in einem Apparat vereinigt sind, während die Nachahmungen meist entweder nur zur Abblendung oder nur zur Fixation dienen.

Kompressionsblende und Therapie

Fällt auch die Technik der Röntgentherapie nicht in den Rahmen dieses Buches, so soll doch die Anwendung der Kompressionsblende zu therapeutischen Zwecken für die Oberflächen und Tiefenbestrahlung im folgenden kurz gestreift werden.

Bei der zurzeit gebräuchlichen Bestrahlungstechnik zu therapeutischen Zwecken ist die Anwendung von Schutzmasken aus Stanniol, Blei oder Kautschukblei ein unerläßliches Erfordernis. Die nicht zu bestrahlenden Partien müssen, um Verbrennungen mit Sicherheit vorzubeugen, auf das sorgfältigste abgedeckt werden. Es sind für diesen Zweck Schalen aus Bleiglas, in welchen sich die Röhre befindet, konstruiert worden. Für nicht dermatologische Bestrahlungen sind indessen diese Modelle weniger geeignet,

---

Patentierung der Blende

[1]) Die K. B. steht seit dem 2. April 1902 unter Patentschutz; am 14. September 1904 wurde das deutsche Reichspatent definitiv erteilt, indem der Erteilungsbeschluß der Anmeldeabteilung auch von der Beschwerdeabteilung bestätigt wurde. Die ausschließliche Herstellung der patentierten Blende und des beschriebenen Untersuchungstisches (D. R. G. M.) steht nur der Firma Siemens & Halske A.-G., Berlin, Nonnendamm zu.

da einerseits ihre Anbringung in Stativen ihres großen Gewichtes wegen erschwert ist, andererseits die Ansatzstücke nicht die genügende Weite haben, um allen Erfordernissen der Praxis zu genügen. Für die Kompressionsblende habe ich Bleiglasansatzstücke herstellen lassen, welche direkt in die Zylinder eingesetzt werden können und somit in besserer Weise denselben Zweck erfüllen, wie die vorbeschriebenen Bleiabdeckungen.

Bleiglasansatzstücke für die Kompressionsblende

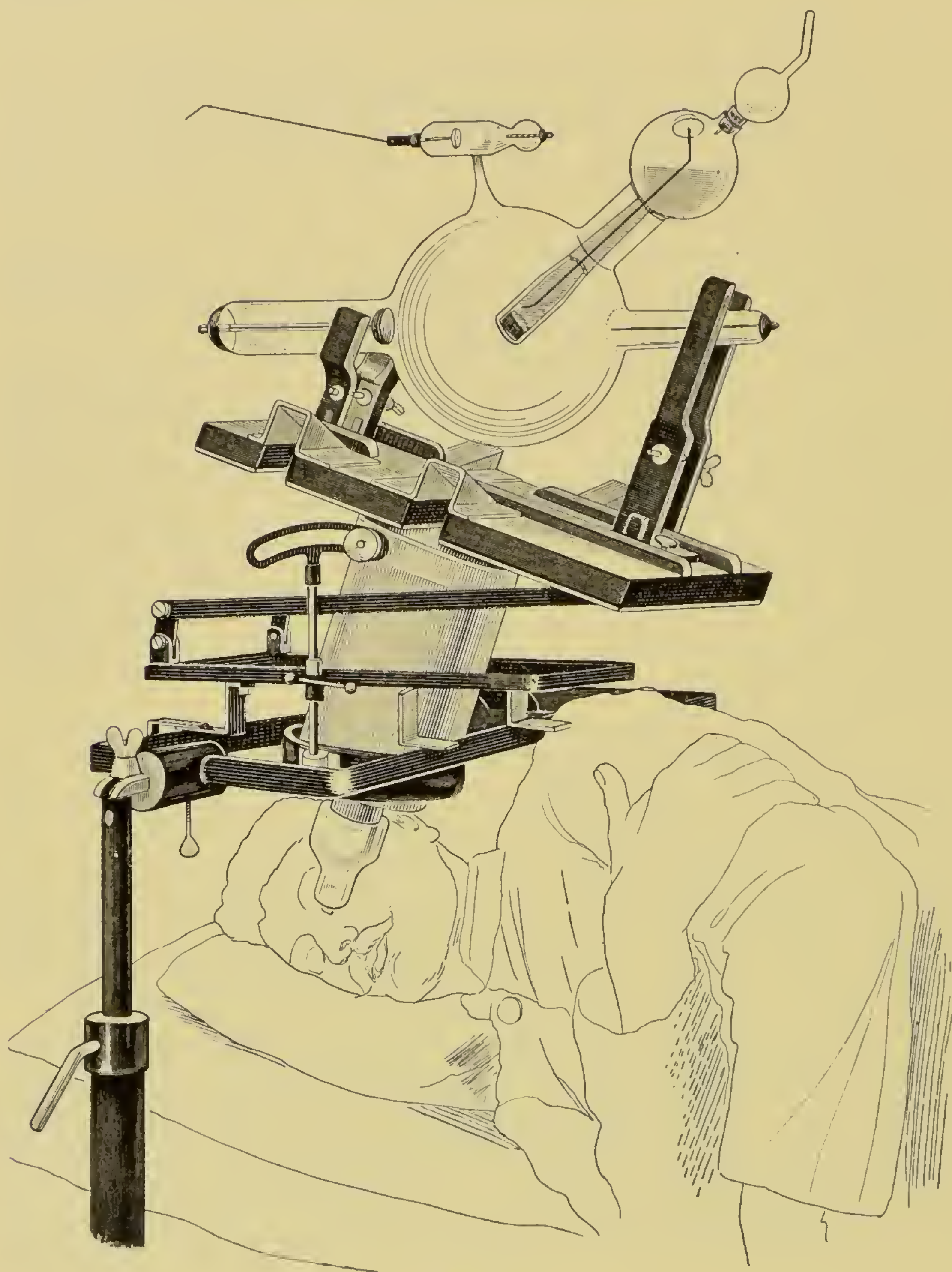


Fig. 118.

In Fig. 118 ist die Konstruktion dargestellt. Am unteren Ende des Zylinders befindet sich ein dickes, aus Bleiglas gearbeitetes Rohr, welches einen mit Kork bekleideten Fortsatz trägt, auf dem kurze Bleiglasansatzstücke von verschiedenem Kaliber aufgesetzt werden können. Handelt es sich um große zu bestrahlende Flächen, welche beispielsweise einen Durch-

messer von 13 cm haben, wie bei gynäkologischen Bestrahlungen (*cf. Verhandlungen der Deutschen Röntgen-Gesellschaft V.*), so kann der Kompressionszylinder direkt ohne die Glasansatzstücke zur Bestrahlung benutzt werden. Sind dagegen die zu behandelnden Flächen kleiner, so wird man entweder das Bleiglasansatzrohr als solches oder dasselbe mit darauf gesetztem Ansatzstück zur Anwendung bringen. Die Röhre ist, wie aus der Figur hervorgeht, in der gleichen Weise wie bei der Röntgenographie üblich, über dem Zylinder zentriert. Die Bleiglasansatzstücke können sowohl in den Zylinder (13 cm) wie in den Stereoskopzylinder (siehe unten) eingesetzt werden. Man ist imstande, jeden beliebigen Körperteil ohne Unbequemlichkeit unter die Blende zu bringen, wobei es sich in den meisten Fällen empfehlen wird, den Patienten, abgesehen bei Bestrahlungen der Hände, Arme oder Füße, eine liegende Stellung einnehmen zu lassen.

Fig. 118 zeigt den Bestrahlungsapparat bei einem Falle von Ulcus rodens im inneren Augenwinkel. Die Apertur des engsten Ansatzstückes entspricht dem Umfange des Geschwüres. Durch die Hebelkonstruktion des Zylinders kann das Ansatzstück beliebig fest aufgesetzt werden, so daß der Patient dadurch einen gewissen Halt bekommt und nicht durch ungewollte Bewegungen aus dem Bestrahlungsbezirk herausrücken kann. Alle weiteren Schutzbedeckungen sind bei der abgebildeten Röhrenstellung überflüssig, da das die Röhre tragende Brett unterwärts mit Blei beschlagen ist und demzufolge die Röntgenstrahlen nur durch die obere Öffnung des Zylinders und durch das Ansatzstück dringen.

Wünscht man, wie dieses von Hahn und für die Tiefenbestrahlung von H. E. Schmidt vorgeschlagen ist, bei Blutleere des Körperteiles zu bestrahlen, so kann auf das Glasansatzstück ein Gummiring oder in den Zylinder ein Luffaschwamm gesetzt werden und nunmehr die Kompression, ohne daß dem Patienten dadurch Schmerzen verursacht werden, energisch stattfinden. Auf diese Weise erzielt man einen von der Zirkulation abgeschlossenen Bezirk innerhalb des komprimierenden Bezirkes. Bestrahlung bei Blutleere

Die Anwendung der Kompressionsblende zur Röntgentherapie in vorbeschriebener Weise hat ferner den Vorzug, daß die Entfernung der Röhrenoberfläche von der Körperoberfläche stets die gleiche bleibt. Man wird also bei einiger Übung sehr schnell die nötige Dosierung kennen. Namentlich bei Verwendung kräftiger Röhren, wie z. B. der Müllerschen Wasserkühlröhren, ist diese zwangsweise Innehaltung des gegebenen Abstandes von der Körperoberfläche von großem Wert, da man eher zu wenig als zuviel bestrahlen wird.

Die Erfahrungen, welche mit der Kompressionsblende in der Therapie gynäkologischer Krankheiten bisher gewonnen worden sind, berechtigen mich, diese Methode der Bestrahlung warm zu empfehlen. Ich verfahre folgendermaßen: Gynäkologische Bestrahlungen

Die Patientin wird mit etwas erhobenem Kopf horizontal auf den Untersuchungstisch gelegt. Fig. 119. Je nachdem es sich um große oder kleine Myome oder nur um Uterusbestrahlungen handelt, verwende ich den Kompressionszylinder von 19 cm oder den von 13 cm Durchmesser. Es ist erwünscht, nur die Myome resp. die Genitalorgane zu bestrahlen, unter möglichster Vermeidung der Därme; dieses erreicht man mit einiger Sicherheit dann, wenn man bei isolierten Uterusbestrahlungen den 13 cm-Zylinder mit seinem unteren Rande hart oberhalb der Symphyse aufsetzt und ihn dann soweit kippt, daß die Lichtachse von oben nach unten schräg in das kleine Becken hinein verläuft. Die richtige Einstellung kann man zweckmäßig durch eine gleichzeitig mit

der therapeutischen Bestrahlung exponierte Platte kontrollieren. Ein solches Bild soll den Beckeneingang, die Linea innominata, das Kreuzbein, die Symphyse und einen kleinen Weichteilabschnitt unterhalb der Symphyse zeigen. Die Aufnahme entspricht ungefähr dem Bilde, welches für Blasenaufnahmen (siehe unten) typisch ist. Da man die gefüllte Blase auf solchen Platten deutlich differenzieren kann, so ist man sicher. die unterhalb des Blasenschattens gelegenen Genitalorgane getroffen zu haben. Durch die Kompression verdrängt man außerdem die Därme nach oben, namentlich dann, wenn man

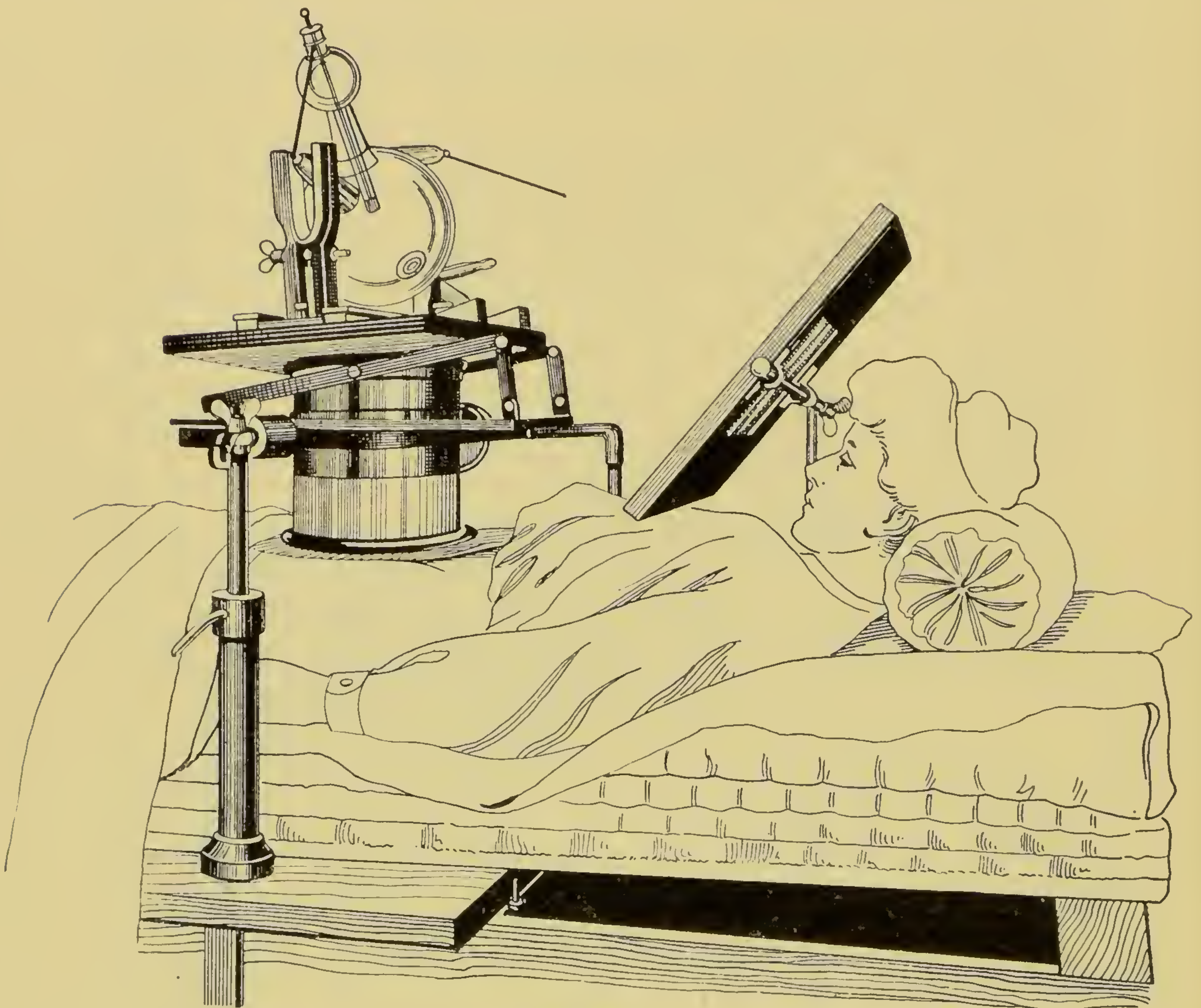


Fig. 119.

wie bei den Blasensteinaufnahmen einen Luffaschwamm benutzt. — Verwendet man den großen 19 cm-Zylinder, wie dieses für Myome von beispielsweise Kindskopfgröße unerläßlich ist, auch für Uterusbestrahlungen oder für Bestrahlungen kleiner Myome, so werden infolge des großen Strahlenkegels jedenfalls auch Darmschlingen getroffen, was zu eventuellen Schädigungen der Darmdrüsen führen könnte. Da der Bestrahlungseffekt in der Tiefe außer von der Qualität (Penetrationskraft) auch von der Intensität, die unter anderem von der Entfernung des Fokus abhängig ist, bedingt wird, so empfiehlt sich, bei der Tiefenbestrahlung die angegebene Anordnung der Röhre auf den Kompressionszylinder schon deswegen, weil man einen großen Fokushautabstand, nämlich 38 cm zwangsweise innehalten muß. Der übrige Körper

der Patientin ist bei Anwendung der Blende dadurch geschützt, daß das Röhrenbrett an seiner Unterseite mit Blei beschlagen ist. Für Gesicht, Hals und Brust braucht man bei dieser Röhrenstellung einen besonderen Schutz, der, wie aus der Fig. 119 hervorgeht, durch Anwendung eines mit Blei gedeckten, drehbaren Schutzschirmes am besten erreicht wird. In den Schutzschirm ist ein Bleiglasfenster eingesetzt, damit die Patientin die Röhre beobachten kann. Der Ausblick auf die Röhre trägt wesentlich, namentlich beim Regulieren, zur Beruhigung ängstlicher Frauen bei. — Bleistücke oder Bleimasken brauche ich bei dieser Anordnung überhaupt nicht. — Bei großen Myomen pflege ich, um die Haut möglichst zu schonen, von verschiedenen Seiten zu bestrahlen. Hierzu wird die Patientin in rechte, resp. linke Seitenlage gebracht. Zwischen die untere Zylinderapertur und die Bauchhaut der Patientin wird weiches Ziegenleder von ca 1 mm Dicke in vierfacher Schicht gelegt. Wenn man auch nicht imstande ist, durch dieses Filter alle die Haut schädigenden Strahlen zu beseitigen, so bietet das Leder doch einen nicht zu unterschätzenden Schutz, auf welchen man unter keinen Umständen verzichten sollte.

Gesichts- und Brust-Schutzschirm

---

10. Kapitel.

Röntgenlaboratorien und Institute.

Allgemeine Bemerkungen.

Bei der Einrichtung des Laboratoriums sollte man in erster Linie auf einen möglichst großen Raum Wert legen. Die vielen Apparate und Nebenapparate, welche in einem komplett ausgerüsteten Institut Aufstellung finden müssen, nehmen erheblichen Platz ein, so daß der Untersucher in beschränkten Räumlichkeiten nicht selten in seiner Tätigkeit durch umherstehende Gegenstände usw. behindert wird. Da es bei den Röntgenuntersuchungen in jeder Beziehung auf Exaktheit ankommt, so darf der Arzt durch seine Instrumente nicht gestört werden, sondern er muß freie Bewegung haben, damit er jedes einzelne derselben bequem benutzen kann. Ist das Laboratorium klein, so müssen notgedrungen viele der Hilfsapparate, welche im Augenblick nicht benutzt werden, zur Seite gestellt oder weggepackt werden. Bei dem meist großen Gewicht dieser Gegenstände ist eine fortwährende Umstellung nicht nur lästig, sondern auch für die Apparate schädlich.

Röntgenlaboratorien und Institute

Es empfiehlt sich bei der Einrichtung von dem Gesichtspunkte auszugehen, daß jeder der erforderlichen Apparate und Hilfsapparate seinen festen Platz im Untersuchungszimmer hat, von welchem er nicht entfernt zu werden braucht, so daß beispielsweise die Durchleuchtung stets vor der definitiv aufgestellten Bleikistenblende, die Nierensteinaufnahmen auf dem für letztere mit Kom-

pressionsblende dauernd armierten Tisch vorgenommen werden usw. Selbstverständlich erfordert diese Anordnung ausreichend Platz.

I. Große Privatinstitute.

(Auch geeignet für mittelgroße Krankenhäuser.)

Große Privatinstitute

Ich werde im folgenden zunächt eine Einrichtung beschreiben, welche einen Raum von ungefähr 7,5 m Länge und 4,5 m Breite zur Voraussetzung hat. Eine solche große Einrichtung empfiehlt sich für Institute, welche sich ausschließlich und spezialistisch der Röntgen-Diagnostik und -Therapie widmen, sowie für mittelgroße Krankenhäuser oder Kliniken, denen die nötigen Mittel für eine komplette Ausrüstung zur Verfügung stehen.

Induktor-Aufstellung

Um den Induktor möglichst praktisch auszunutzen, d. h. um mit einem größeren Instrument auszukommen, wird derselbe zweckmäßig, wie in Fig. 120 angegeben, aufgestellt. Auf einem 205 cm hohen und 100 cm : 50 cm breiten Stativ, das aus kräftigem Holz gearbeitet ist, befindet sich der Induktor auf einer Drehscheibe (α). Die letztere muß so konstruiert sein, daß der Apparat ohne Mühe nach jeder beliebigen Richtung, um 90° gedreht werden kann. Am besten wird dieses durch ein mit vier auf einer Schiene laufenden Rollen armiertes Brett erreicht. Hierdurch wird bei etwaigen Drehungen des Induktors infolge der geringen Reibung jede Erschütterung vermieden. Der Funkenständer wird, wie die Figur zeigt, vor der Längsseite des Induktors in schräger Stellung angebracht und mit ihm durch isolierte Kabel verbunden. Funkenständer, welche sich oben auf dem Induktor befinden, würden wegen der großen Höhe nicht leicht genug erreichbar sein. Zwischen dem Gestell, auf welchem der Apparat drehbar aufgestellt ist, befindet sich der im vorstehenden bereits beschriebene Widerstandstisch, sowie erforderlichenfalls der Widerstand für den Quecksilbermotorunterbrecher (W). Außerdem sind an jedem der beiden Vorderbalken des Gestelles die Schalter (e) für die Beleuchtung des ganzen Zimmers angebracht. Der Untersuchende kann bei dieser Anordnung mit einer Hand die sämtlichen erforderlichen Handgriffe in kürzester Zeit vornehmen. Die Verdunkelung des Zimmers, ebenso wie die allgemeine und die teilweise Beleuchtung findet direkt vom Stande des Untersuchers aus statt.

Vom Widerstandstisch sind die nötigen Kabelverbindungen (K) hinauf zur primären Rolle des Induktors, und unter dem Fußboden hindurch in die Nebenräume, woselbst der elektrolytische Unterbrecher Aufstellung gefunden hat, gelegt. Da es nun unter Um-

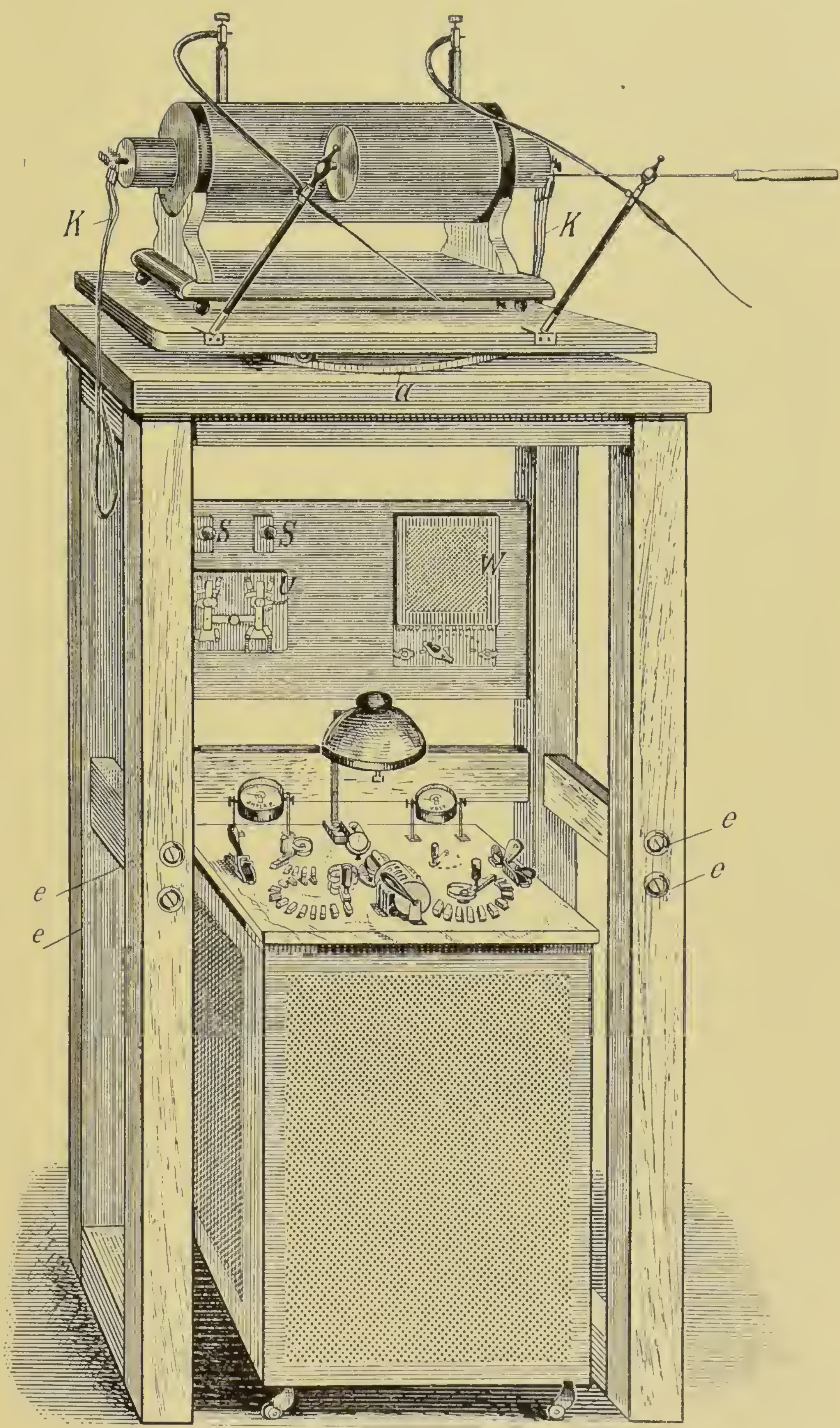


Fig. 120.

ständen wünschenswert ist, zu Versuchs- oder Demonstrationszwecken einen Wehnelt unmittelbar zur Hand zu haben, so ist außer dem im Nebenraum untergebrachten, auch im Laboratorium neben dem dort befindlichen Quecksilbermotorunterbrecher ein zweiter elektrolytischer Unterbrecher aufgestellt. Eine einfache Umschaltvorrichtung (*U*) ermöglicht es, bald mit dem entfernt aufgestellten Wehnelt, bald mit dem im Zimmer befindlichen zu arbeiten. Diese Anordnung hat indessen nur dann einen Zweck, wenn man die Möglichkeit bequem zu experimentieren haben will, für die tägliche Praxis ist es, um vor Lärm und Geruch im Untersuchungszimmer vollständig geschützt zu sein, vorzuziehen, den entfernt aufgestellten Unterbrecher zu benutzen. Der Quecksilbermotorunterbrecher hat ebenfalls mehr oder weniger nur den Wert eines Versuchsunterbrechers zu Lehrzwecken oder um gelegentlich Vergleiche zwischen dem elektrolytischen und der alten Form anstellen zu können. Lediglich aus diesem Gesichtspunkte empfichlt es sich, bei einer Neueinrichtung von vornherein die doppelte Anordnung vorzusehen. Handelt es sich um Institute, welche nur für die röntgenographische Praxis bestimmt sind, in denen also weniger experimentiert und nicht gelehrt wird, dann ist der Quecksilbermotorunterbrecher vollständig überflüssig. Aus der Schilderung obiger Anordnung geht hervor, daß der Untersuchende ohne jede Schwierigkeit sofort von einem Unterbrecher auf den anderen umschalten kann.

Der Induktor ist drehbar auf dem Gestell zu montieren, damit man sowohl einen rechts wie links, wie vor dem Stativ aufgestellten Hilfsapparat einschalten kann. Man ist also in der Lage, den Induktor nach drei verschiedenen Richtungen hin auszunutzen. Will man nur nach rechts und links arbeiten, dann ist die drehbare Aufstellung überflüssig, da die Kabel nach beiden Seiten, je nach Bedarf, abgeleitet werden können. Eine solche Anordnung erschwert indessen das Benutzen des Induktors nach vorn.

Aufstellung der Nebenapparate

In einem sehr großen Raum kann man das Stativ in der Mitte des Laboratoriums aufstellen, wodurch auch die Möglichkeit, an der Rückseite einen Hilfsapparat einzuschalten gegeben ist. In der Praxis ist dieses wohl kaum erforderlich, da eine Ausnutzung nach drei Seiten vollkommen genügt. Das den Induktor tragende Gestell steht an der Längswand des Untersuchungszimmers, und zwar so weit von der Wand entfernt, daß man bequem hinter ihm vorbeigehen kann. Rechts seitlich von dem Gestell befindet sich der Untersuchungstisch mit der Kompressionsblende. Da letztere ein beträchtliches Gewicht repräsentiert, würde es mit Schwierigkeiten verbunden sein, sie für jeden Fall der Benutzung erst herbeizuschaffen und aufzustellen. Infolgedessen rate ich, sie

dauernd an Ort und Stelle zu lassen und alle anderen Untersuchungen, welche nicht mit der Kompressionsblende ausgeführt werden, auf einem Tisch vorzunehmen, welcher linksseitig vom Induktorstativ steht. Die Bleikistenblende für Durchleuchtungen wird vis-à-vis dem Induktor aufgestellt. Verfügt man über einen Orthoröntgenographen, so kann derselbe an Stelle des linksseitig vom Stativ befindlichen Tisches placiert werden. Der für den ersteren bestimmte Tisch ist so eingerichtet, daß er vermittelst einer Holzplatte in einen Untersuchungstisch umgewandelt werden kann.

Wir haben also die hauptsächlichsten Hilfsapparate, welche in der Röntgenpraxis zur Anwendung kommen, in dieser Weise handlich um den Induktor gruppiert. Die Kabelverbindung zwischen dem letzteren und den einzelnen Apparaten wird entweder mittels Hochspannungsumschalter (siehe unten) oder so hergestellt, daß man Gummi- oder Porzellanringe mittels Fäden an der Decke aufhängt und durch dieselben die erforderlichen Anschlußkabel führt. Sie bleiben dauernd in ihrer Position in den Ringen hängen, so daß man bei Benutzung eines der Apparate nur den Induktor in die betreffende Stellung zu rotieren und an den Funkenständer die in den Ringen hängenden Kabel anzuschließen hat. Diese definitive Aufhängung der Kabel hat den Vorteil, daß man keine Mühe beim Anschluß des betreffenden Apparates hat und sich daran gewöhnt, stets die Röhre richtig einzuschalten, da eine Verwechslung zwischen Anode und Kathode wohl nicht so leicht vorkommen wird. Sehr zweckmäßig ist es auch, über den Untersuchungstischen parallel zu ihrer Längsachse zwei 40 cm voneinander befindliche und isolierte Messingdrähte von Wand zu Wand zu führen. Sie werden mit den Polen des Induktors dauernd verbunden. Mittels kurzer, auf den Drähten hin und her gleitender Drahtspiralen schaltet man die Röhren ein.

Über dem Tisch, welcher sich zur Linken des Induktors befindet, ist der Seite 240 beschriebene Wandarm angebracht. Sollen mit ihm Durchleuchtungen zu internen Zwecken vorgenommen werden, so ist es nur erforderlich, den Tisch etwas auf die Seite zu rücken, so daß der zu untersuchende Patient seinen Stützpunkt an der Kante dieses Untersuchungstisches hat.

Der fahrbare Schutzschirm (Fig. 121), welcher dem Untersuchenden zum Schutz gegen etwaige Bestrahlung dient, wird so vor dem Induktor aufgestellt, daß jedesmal die größte Wandfläche desselben gegen den in Benutzung befindlichen Untersuchungstisch gerichtet ist. Da sich dieser Bleischirm auf Rollen drehen läßt, so kann man ihn mit Leichtigkeit in jede Richtung bringen. *a* und *e* in Fig. 121 sind mit Bleiglas versehene Fenster, *f* ein das

Schutzschirm fahrbar

Gewicht der Vorderwand ausbalancierender Sandsack. Benutzt man das im Kapitel „Schutzvorrichtungen“ beschriebene bleigedeckte Schutzhaus, so tritt dieses an Stelle des Schutzschirmes. Sehr zu empfehlen ist die Anwendung eines so großen Schutzkastens, daß

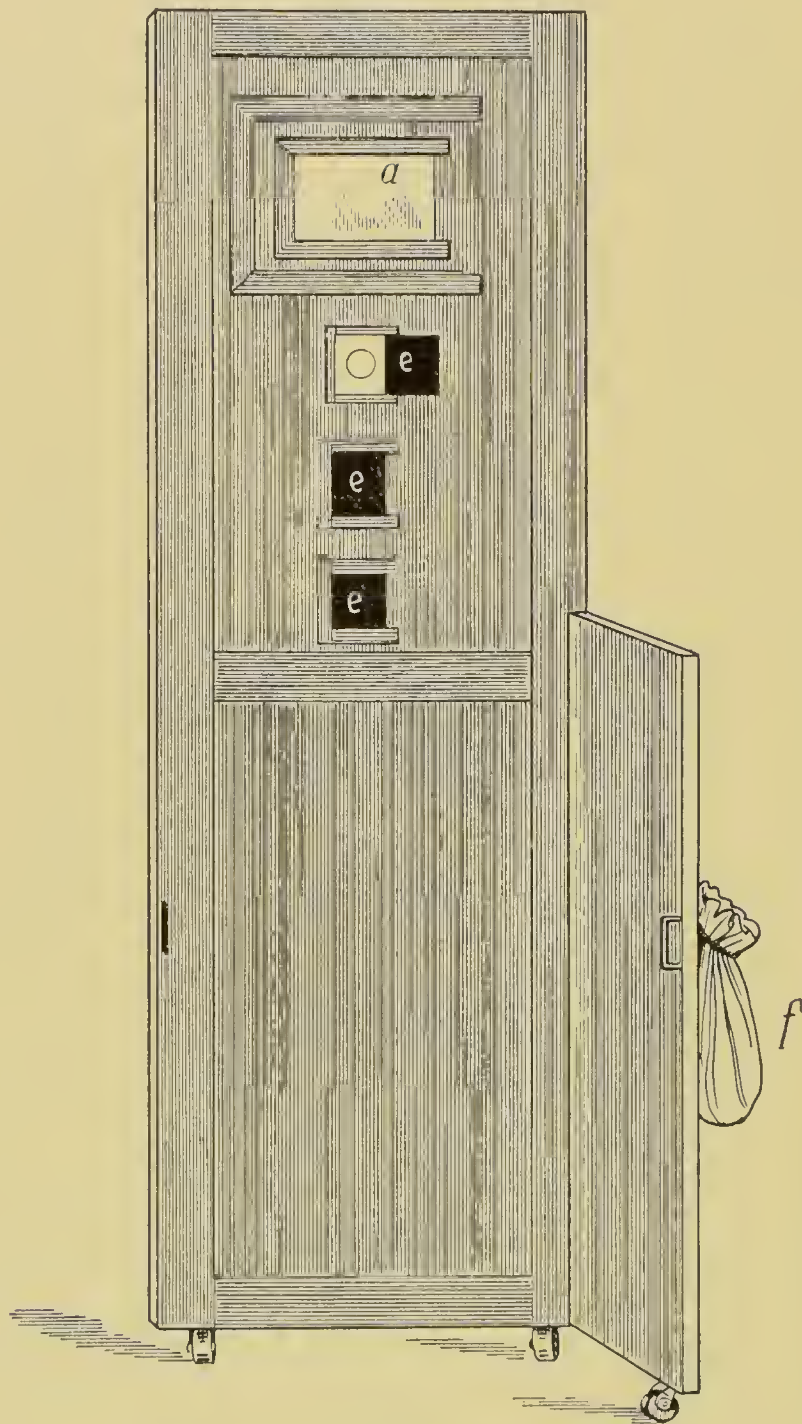


Fig. 121.

in ihm der Rheostat Platz findet. Auf dem Dach dieses Kastens kann dann der Induktor aufgestellt werden.

Es empfiehlt sich ferner, um die Bestrahlung vom Untersuchenden nach Möglichkeit abzuhalten, die Röhren, wie an

anderer Stelle beschrieben, sowohl auf der Kompressionsblende wie am Wandarm stets so einzustellen, daß ihre Strahlung von dem am Reguliertisch stehenden Untersucher abgewandt ist.

Wenn der Raum es zuläßt, richtet man mittels einer hölzernen Verkleidung eine kleine Garderobe im Zimmer ein, um den Patienten ein bequemes An- und Auskleiden zu ermöglichen und um zu vermeiden, daß Kleidungsstücke während der Untersuchung im Zimmer umherliegen.

Die Fenster des Laboratoriums sind mit unten beschriebenen Blecheinsatzfenstern zu versehen und können dadurch verdunkelt werden, daß diese nach Art der Doppelfenster einfach geschlossen werden. Den zu Demonstrationszwecken mit künstlichem Licht dienenden Kasten stellt man ebenfalls im Laboratorium auf.

Beleuchtung, direkte und indirekte

Die Beleuchtung des ganzen Raumes findet so statt, daß über jedem der beiden Untersuchungstische ein Zugpendel, das mittels der Schalter (*e*) am Induktorgestell eingeschaltet werden kann, hängt. Der Zugpendel, welcher dem Fenster am nächsten ist, muß dann noch eine zweite Einschaltvorrichtung besitzen, die in der Nähe des letzteren angebracht ist, damit bei Verdunkelung des Laboratoriums sofort künstliches Licht hergestellt werden kann und man nicht nötig hat, sich erst nach den Schaltern hinzutasten. Um den ganzen Raum hell zu beleuchten, kann man an der Decke einen Körper mit etwa vier fünfundzwanzigkerzigen Glühlampen anbringen. Dieser wird jedoch für gewöhnlich nicht zur Benutzung kommen. Da es bei Durchleuchtungen zu medizinischen Zwecken unbedingt erforderlich ist, daß die Augen des Untersuchenden völlig adaptiert sind, empfiehlt es sich, eine indirekte Beleuchtung, das heißt, einen Wandarm, welcher mittels eines undurchsichtigen Lampenschirms sein Licht gegen die weiß gestrichene Decke des Zimmers wirft, vorzusehen. Der Untersuchende ist hierdurch vor Blendung vollständig geschützt und hat doch ein ruhiges und mildes Licht im Zimmer, bei welchem sich die Augen vorzüglich ausruhen. Schließlich ist auf dem Widerstandstisch ein Dunkelschalter angebracht, der es ermöglicht, während einer Durchleuchtung das Zimmer ausreichend zu verdunkeln, und der dennoch soviel Licht auf den Tisch gelangen läßt, daß die einzelnen Schaltergriffe gerade noch zu erkennen sind. Man braucht also für das Röntgenlaboratorium zwei Ansteckdosen für Gebrauchselektrizität, eine zur Inbetriebsetzung des Induktors und eine zweite zur Beleuchtung des Demonstrationskastens. Selbstverständlich kann man noch verschiedene andere Beleuchtungskörper nach Gutdünken im Laboratorium anbringen. Für die Erfordernisse der Praxis genügen die beschriebenen vollkommen.

Der Anstrich der Wände ist hellgrau oder hellgelb zu nehmen, wobei man darauf zu achten hat, daß die Farbe nicht im Dunkeln fluoresziert. Letzteres kommt nicht selten vor und kann unter Umständen bei Durchleuchtungen störend wirken. Das Laboratorium schwarz oder dunkelrot anzustreichen, hat keinen Zweck, da ein heller Anstrich die vollständige Verdunkelung in keiner Weise stört. Erlaubt es der Raum, so bringt man noch ein Reol für fertige Platten an, sowie einen mit Fächern versehenen, an der Wand hängenden Schrank oder Börter mit Klammern zur Aufbewahrung der Röntgenröhren.

II. Kleine Privatlaboratorien.

(Auch geeignet für kleine Krankenhäuser.)

Kleine Privatlaboratorien

Ist der Raum, welcher für das Laboratorium bestimmt ist, von kleinen Dimensionen, so läßt sich die Anordnung wesentlich modifizieren. Man stellt alsdann das Induktorstativ, in der gleichen Weise wie oben beschrieben, an die Längswand des Zimmers und links davon die Bleikistenblende. Dieses gewährt den Vorteil, daß der Untersuchende mit der rechten Hand den Bariumschirm halten und mit der Linken die Handgriffe auf dem Widerstandstisch bedienen kann. Rechts neben dem Induktor findet der Wandarm mit dem darunterstehenden Untersuchungstisch und der Kompressionsblende Platz. Wird letztere nicht gebraucht, so wird sie einfach an das Fußende des Tisches geschoben, wodurch wesentlich an Raum gespart wird, da der vordere Platz vor dem Induktorstativ frei bleibt. Wählt man diese Aufstellung, so ist es nicht erforderlich, den Induktor drehbar zu machen, da man nur nach rechts und links und nicht nach vorn arbeitet.

Das Dunkelzimmer, welches im nächsten Kapitel zu besprechen sein wird, muß sich möglichst in der Nähe befinden, aber genügend gegen etwaige durch Türen oder Wände dringende Bestrahlung geschützt sein.

Die Platten finden ihre Aufbewahrung in einem Zimmer, welches fern vom Untersuchungsraum liegt, da sie auch vor geringer Einwirkung von Röntgenstrahlen sorgfältig zu bewahren sind.

Es sei schließlich erwähnt, daß man, um einen Röntgenapparat mit Erfolg zu benutzen, auch mit ganz kleinen Räumen auskommen kann. Immerhin wird man in solchen auf die Anwendung größerer Hilfsapparate vollständig verzichten müssen. Derartige kleine Laboratorien werden sich zweckmäßig in solchen Betrieben einrichten lassen, welche die Röntgenographie nur ausnahmsweise als diagnostisches Hilfsmittel benutzen, beispielsweise in kleineren Lazaretten

oder im Hause des praktischen Arztes. In diesem Falle kann man das Laboratorium und das Dunkelzimmer in demselben Raum unterbringen. Der Induktor findet dann seine Aufstellung auf einem an der langen Wand angebrachten Bort. In der Längsachse des Zimmers wird vor dem Induktor der Untersuchungstisch mit Kompressionsblende aufgestellt. Die Kabel gehen durch an der Decke aufgehängte Gummiringe vom Induktor zum Stativ. Als Schutzvorrichtung dient eine Schirmblende oder man benutzt undurchlässige Schutzschürzen und Brillen (siehe Kapitel „Schutzvorrichtungen"). An einer der Querwände, am besten vor dem zu verdunkelnden Fenster, wird ein blecherner Waschtisch mit Wasserleitungsanschluß für die Entwicklungsarbeiten aufgestellt. Ein Brett, welches über denselben gelegt werden kann, verwandelt ihn in einen gewöhnlichen Tisch zum Einlegen der Platte in die Kassette. Die rote Lampe hängt über dem Waschtisch. Selbstverständlich müssen die unbelichteten Platten in einem entfernten Raum aufbewahrt werden. An der dem Induktor gegenüberliegenden Längswand sind dann noch mehrere Börter anzubringen, auf welchen die zu photographischen Zwecken erforderlichen Chemikalien stehen. Daß das Arbeiten in solchen kleinen Räumen natürlich weniger angenehm und erfolgreich ist, als in großen, versteht sich von selbst, immerhin kann ein gewandter Untersucher auch hier gute Resultate erzielen, vorausgesetzt, daß er mit der penibelsten Sorgfalt seine sämtlichen Arbeiten, vor allen Dingen die photographischen verrichtet. Es liegt nahe, daß Verunreinigungen der Platten hier leichter vorkommen, als wenn im Dunkelzimmer reichlich Platz ist oder wenn man Verstärkungs- und Fixierarbeiten in getrennten Räumen vornehmen kann. Eventuell ließe sich in einem solchen kleineren Laboratorium auch der Seite 240 beschriebene Wandarm, mit welchem man die internen Untersuchungen machen könnte, anbringen.[1])

III. Transportable Einrichtungen.

Der Wunsch, die Röntgenuntersuchung auch außerhalb des Laboratoriums vorzunehmen, ist, da in vielen Fällen die Überführung des Patienten in ein stationäres Institut unmöglich sein

Transportable Einrichtungen

---

[1]) Es sind im Handel die sogenannten Pult- und Schrankapparate erschienen, von denen indessen für einen einigermaßen gründlichen Betrieb wohl abgesehen werden kann. Das leichte und gefällige Äußere und der sehr geringe Raum, welchen sie einnehmen, ist gewiß bestechend, aber wer die Schwierigkeiten der Röntgenuntersuchungen kennt und nicht nur darauf bedacht ist, eine Hand oder einen Fuß zu untersuchen, sollte lieber eine etwas größere Einrichtung wählen, welche unstreitig praktischer und brauchbarer ist.

dürfte, ein durchaus berechtigter. Bedenkt man ferner die außerordentliche Wichtigkeit, welche die Röntgenuntersuchung in der Kriegschirurgie hat, so wird man die Konstruktion transportabler Apparate durchaus billigen müssen. Auf die Röntgenologie im Kriege soll in diesem Buche nicht näher eingegangen werden. Das vorzügliche Werk von Gillet *„Die ambulatorische Röntgentechnik“* und die von Niehues ausgearbeitete *„Feldröntgenwagen-Vorschrift“* enthalten alles hierüber Wissenswerte. Auch auf das ältere Buch von Stechow *„Das Röntgenverfahren mit besonderer Berücksichtigung der militärischen Verhältnisse“* ist hinzuweisen. Die Mühe, welche damit verbunden ist, außerhalb des Laboratoriums zu arbeiten, ist nicht gering, daher sollte man sich dieses, bevor man einen solchen Apparat anschafft, wohl überlegen. Zunächst kann die Entwicklung in nur sehr seltenen Fällen im Hause des Patienten vor sich gehen, da wohl die wenigsten über eine Dunkelkammer verfügen. Man ist also genötigt, die fertigen Röntgenplatten mit in das Laboratorium zu nehmen und dort zu entwickeln. Ist nun die Aufnahme mißlungen, überexponiert, unscharf oder was der Fehler mehr sind, so ist das ganze Unternehmen verfehlt, es sei denn, daß man sich dazu entschließt, nochmals mit seinem Apparat zu dem Patienten zu ziehen und die Aufnahme zu wiederholen. Die schnelle Kontrolle auf das Gelingen der Untersuchung, welche wir im Laboratorium durch die sofortige Entwicklung der Platten haben, fällt im Privathause natürlich fort. Dieses darf indessen nicht davon abhalten, auch außerhalb des Laboratoriums Untersuchungen zu machen, da manche Fälle, namentlich komplizierte Frakturen und dergleichen nicht transportfähig sind. Es sind sehr gute und preiswerte transportable kleine Apparate, von Siemens & Halske, Rich. Seifert & Co., Reiniger, Gebbert & Schall, Kohl, von der Polyphos-Gesellschaft und anderen in den Handel gebracht, welche mittels Quecksilbermotorunterbrecher oder Neefschem Hammer arbeiten und bei einer Funkenlänge von 10 – 25 cm genügend Kraft besitzen, um eine Röntgenröhre leidlich zu betreiben. Diese Apparate sind so eingerichtet, daß sie sowohl an etwa vorhandene elektrische Lichtanlagen angeschlossen, als auch durch mitgebrachte Akkumulatoren in Betrieb gesetzt werden können. Ist man genötigt, diese mit in das Haus des Patienten zu nehmen, so ist, da sie ein respektables Gewicht besitzen, der Transport unerfreulich. Sehr zweckmäßig hat Metzner den Röhrenhalter an seinem von ihm konstruierten transportablen Apparat direkt an der den Apparat enthaltenden Kiste angebracht, so daß hierdurch das Mitnehmen eines besonderen Stativs überflüssig wird. Zu einem solchen Transport wird dann ferner noch die Röhre oder

eventuell sogar mehrere Röhren, sowie eine Anzahl lichtdicht verpackter photographischer Platten zu rechnen sein.

Extension nach Bardenheuer

Mit Einführung der Bardenheuerschen Extensions-Behandlung der Knochenbrüche macht sich neuerdings auch in den Krankenhäusern das Bedürfnis, die Kranken im Bett zu untersuchen, fühlbar. Der Transport der Patienten in das Röntgenlaboratorium ist infolge der vielen, bei der Extension gebrauchten Gewichte, welche nicht entfernt werden dürfen, sehr schwierig. Überdies wurden Fälle beobachtet, wo das Fahren mittels Krankenbahre oder fahrbaren Bettes dislozierend auf die Bruchenden gewirkt hatte.

Um die für die Behandlung so außerordentlich wichtigen Aufnahmen auch auf den Pavillons vornehmen zu können, habe ich einen Apparat konstruiert, welcher allen Anforderungen bisher völlig genügt hat (Fig. 122).

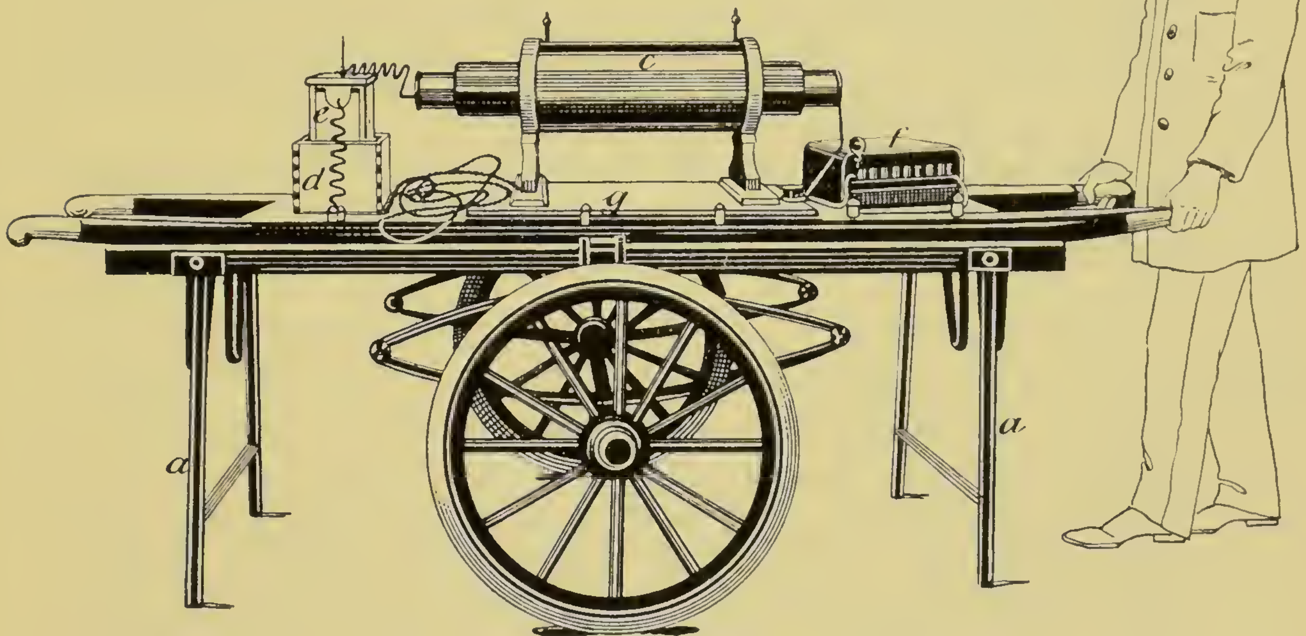


Fig. 122.

Fahrbarer Apparat

Auf ein Untergestell, das mit zwei, mit Gummireifen versehenen Rädern und guten Sprungfedern versehen ist, läßt sich eine Tragbahre, welche die gesamten Instrumente fest montiert trägt, aufsetzen. In der Mitte der Bahre steht der Induktor (*c*), rechts von ihm ein einfacher Widerstand (*f*) und links ein einstiftiger Wehneltscher Unterbrecher (*e*) mit Schalldämpfer in einem Holzkasten (*d*). Von der Verwendung eines Quecksilber-Unterbrechers wurde aus Gründen der Feuersicherheit abgesehen. An dem fahrbaren Gestell befinden sich überdies zwei aufklappbare eiserne Fußgestelle, welche zum feststellen dienen. Der Apparat kann bequem von einer Person in die Krankenpavillons hineingefahren und vor den Betten aufgestellt werden. Handelt es sich um Aufnahmen, welche in

höheren Stockwerken stattfinden sollen, so wird die Tragbahre von zwei Krankenwärtern vom Fahrgestell abgehoben und an Ort und Stelle geschafft. Der Anschluß erfolgt an eine beliebige Ansteckdose, wobei darauf zu achten ist, daß die Sicherungen etwa bis zu 15 Ampère Strom zu entnehmen gestatten. Als Röhrenhalter dient ein einfacher Wandarm, welcher direkt auf die Bettstelle aufgeschroben werden kann. Von der Anwendung von Blenden sieht man bei diesen Aufnahmen, um sie nicht unnötig zu komplizieren, besser vollkommen ab. Da es sich meistens um Knochenbrüche, welche einfach darzustellen sind, handelt, so reichen die Bilder auch ohne Blenden vollkommen zur Stellung von Diagnosen oder Korrektur von Dislokationen aus. Auch außerhalb des Krankenhauses kann ein solcher Apparat mit Vorteil überall dort, wo Stromanschluß vorhanden ist, benutzt werden. Der Transport, selbst auf engen Treppen, macht nicht die geringsten Schwierigkeiten, da sämtliche Apparate fest montiert sind und man außerdem wohl stets über geschultes Personal verfügt, welches in der Handhabung von Tragbahren die nötige Übung hat.

Die Lagerung des Patienten im Bett kann meistens gut vorgenommen werden, da man durch Kissen und sonstige Gegenstände das betreffende Glied ziemlich ruhig stellen kann.

Praktischer Arzt und Röntgenapparat

Die Frage, ob dem praktischen Arzt der Rat zu geben sei, sich in der Röntgentechnik auszubilden und mit den nötigen Apparaten zu versehen, ist oft diskutiert worden. Die Ansichten hierüber sind zurzeit noch geteilt. Eine kleine Anzahl von Autoren macht Propaganda für die Verallgemeinerung der Methode, die große Mehrzahl steht auf einem entschieden ablehnenden Standpunkt. Daß die letzteren recht behalten haben, hat die Zeit gelehrt, denn die Zahl der mit R-Apparaten ausgerüsteten Praktiker ist sehr gering geblieben. Die Ansicht des Verfassers geht dahin, daß in größeren Städten, wo Spezialinstitute oder gut eingerichtete Krankenhäuser vorhanden sind, von der Erlernung der Röntgentechnik und der Anschaffung eines Röntgeninstrumentarium entschieden abzuraten ist, daß dagegen Landärzten unter Umständen die Anschaffung von Apparaten zu empfehlen sein kann. Schon vor Jahren hatte Verfasser Gelegenheit, auf Anregung der Redaktion der „*Fortschritte der Medizin*“ sowie in der „*Zeitschrift für das ärztliche Fortbildungswesen*“ diese seine Ansicht näher auszuführen. Da sich in den Verhältnissen inzwischen nichts geändert hat, so mag die Begründung, weshalb dem Arzt von der Anschaffung abzuraten ist, in der damals gewählten Form im folgenden gebracht werden:

a) Wissenschaftlich technische Gründe.

1. Die Anfertigung diagnostisch brauchbarer Platten, welche schwierigere Körperteile als Hände und Füße darstellen sollen, erfordert neben allerbesten Apparaten und guten anatomischen, medizinischen und chirurgischen Kenntnissen vor allen Dingen eine weitgehende technische Ausbildung und fortdauernde Übung. (Vergleichbar mit der Anwendung des Mikroskops, der Mikrotom- und Färbetechnik, der chemischen und bakteriologischen Untersuchungsmethode usw.)

Vorbildung für die Ausübung des Röntgenverfahrens

2. Die sichere Deutung der gesehenen Schirmbilder oder der fertiggestellten Platten erfordert, sobald es sich nicht um die allereinfachsten Fälle handelt, neben umfangreichen anatomischen, chirurgischen und medizinischen Kenntnissen jahrelange Erfahrung. Falsche Röntgendiagnosen sind für den Patienten verhängnisvoller als die Unterlassung der Röntgenuntersuchung überhaupt. (Vergleichbar mit der Deutung histologischer Präparate, bakteriologischer Untersuchungen usw.)

Den unter 1 und 2 vorstehend auseinandergesetzten Anforderungen wird der praktische Arzt im allgemeinen nicht völlig genügen können, da seine Ausbildung in anderer Richtung erfolgt ist. In einem Kurse lassen sich die erforderlichen Erfahrungen und technischen Fertigkeiten nicht erwerben, sie erfordern vielmehr eine intensive Hingabe und Aufwendung an viel Zeit, Arbeit und Geld.

b) Sanitäre Gründe.

Die Erfahrung hat die Schädlichkeit der Röntgenstrahlen für den tierischen Organismus dargetan. Da es feststeht, daß der menschliche Körper auf die Dauer schwer geschädigt werden kann, ist es eine Pflicht des Röntgenuntersuchers gegen sich selbst, sowie gegen seine Assistenten und Vertreter, derartig weitgehende Schutzvorkehrungen zu treffen, daß kein Schaden angerichtet wird. Es ist die strikte Forderung zu stellen, daß der Körper des Arztes bei Durchleuchtungen und Aufnahmen, wenn irgend möglich, vollständig vor jeder Bestrahlung geschützt ist. Diese Schutzvorrichtungen erfordern für das Röntgenlaboratorium große und geräumige Lokalitäten, wie solche im Privathause des Arztes wohl selten zur Verfügung stehen werden. Das Arbeiten in einem kleinen Raum ist, weil auf die Dauer gesundheitsschädlich, unstatthaft.

Schutzvorkehrungen

c) Pekuniäre Gründe.

Pekuniär können sich die Untersuchungen nur dann lohnen, wenn sie in großer Anzahl im Jahre ausgeführt werden. Bei

wenigen Untersuchungen sind die Unkosten verhältnismäßig so groß, daß der Arzt unter Umständen nicht einmal auf seine Kosten kommen wird. Diejenigen Ärzte, welche ein wohl eingerichtetes, spezialistisches Institut in erreichbarer Nähe haben, werden also ohne Unkosten zu bedeutend besseren diagnostischen Resultaten kommen, als wenn sie auf eigene Rechnung Untersuchungen vornehmen. Selbst kleine Krankenhäuser übertragen ihre Untersuchungen zweckmäßig einem Spezialinstitut. Seit Jahren läßt ein Hamburger Krankenhaus von 100 Betten seine sämtlichen Untersuchungen bei mir anfertigen. Dieses hat dem Krankenhause im Durchschnitt bisher etwa 250 M. pro Jahr gekostet (vergleiche hiermit das Röntgenkonto ähnlicher Krankenhäuser mit eigenem Betrieb). Um einen nennenswerten pekuniären Nutzen zu erzielen, muß man im Jahre mindestens 500 Untersuchungen machen. Welcher Arzt hat pro Jahr 500 zur Röntgenuntersuchung geeignete Fälle?

Unkosten des Verfahrens

d) Die Röntgentherapie.

Praktischer Arzt und Röntgentherapie

Die Ausübung der Röntgentherapie kann dem praktischen Arzt nur dann zugestanden werden, wenn er eine genügend gute Ausbildung in derselben erhalten hat. Der Schaden, welcher mit der Röntgentherapie angerichtet werden kann und auch fortgesetzt angerichtet wird, ist ein so bedeutender, daß es eine berechtigte Forderung zum Schutze des Publikums sein würde, wenn man von dem die Therapie ausübenden Arzt einen Befähigungsnachweis verlangen könnte. Wer ohne die nötige Kenntnis sich an die Röntgentherapie heranmacht, darf sich nicht wundern, wenn er für angerichtete Verbrennungen usw. haftbar gemacht wird, ein Schicksal, dem selbst Spezialisten in diesem Fache bereits zum Opfer gefallen sind.

Haftpflicht

Wenn meiner Meinung nach den praktischen Ärzten im allgemeinen nicht anzuraten ist, sich persönlich in der Röntgentechnik auszubilden, so ist es für dieselben trotzdem von größter Wichtigkeit, sich fortlaufend über den Stand der ganzen Röntgenfrage orientiert zu halten. Die Praktiker müssen wissen, was die Methode leistet und was sie nicht leistet, da sie anderenfalls nicht imstande sind, ihre Patienten richtig zu beraten, sondern unter Umständen Hoffnungen bezüglich der zu erreichenden Untersuchungsresultate in ihnen erwecken, welche später nicht in Erfüllung gehen. Für die Ausübung der Technik und namentlich für die Deutung schwieriger Befunde, sei es auf der Platte oder auf dem Leuchtschirm, kann die spezialistische Hilfe nicht entbehrt werden. Es ist die Röntgentechnik unbedingt mit anderen schwer zu erlernenden

medizinischen Techniken zu vergleichen. Den Katheterismus der Harnleiter, um einen Vergleich anzuführen, muß der praktische Arzt kennen und gesehen haben, die Ausübung desselben wird dagegen stets in den Händen des spezialistisch ausgebildeten Chirurgen bleiben. Es wäre zuviel verlangt, wenn bei der heutigen Arbeitsüberlastung der Mehrzahl der praktischen Ärzte auch die Technik der verschiedenen Einzeldisziplinen von ihnen gefordert würde. Auf allen Gebieten der Medizin erkennen wir als hervorstechenden Zug die Arbeitsteilung. Hiermit steht im Einklang, daß auch die Röntgenologie als selbstverständiges Spezialfach anerkannt und ausgeübt werden muß.

Röntgenologie ein Spezialfach

IV. Große Röntgeninstitute für Universitätskliniken und große Krankenhäuser.

a) Allgemeine Bemerkungen.

Es ist nicht zu bestreiten, daß im Laufe der letzten Jahre die Arbeiten der Röntgeninstitute in vielen Krankenhäusern und Kliniken wesentlich bessere geworden sind. Manche Anstalten haben sich durch hervorragend gute Arbeiten, sowohl wissenschaftlichen wie technischen Charakters ausgezeichnet. Trotzdem ist leider eine große Zahl der Kliniken und Krankenhäuser nicht mit der Zeit fortgeschritten, so daß man die von ihnen gelieferten Platten und Durchleuchtungsresultate nicht als auf der Höhe der Zeit stehend bezeichnen kann.

Moderne Röntgeninstitute

Der Grund, weshalb der Fortschritt ein so außerordentlich langsamer ist, liegt darin, daß die Röntgenstationen in den meisten Fällen Anhängsel der medizinischen oder chirurgischen Abteilungen sind. Eine Schwester oder günstigstenfalls ein Assistent nehmen, so weit ihnen ihre Tätigkeit die erforderliche Zeit dazu übrig läßt, die Arbeiten der Röntgenstation nebenher wahr. In den Kliniken und in manchen Krankenhäusern hat man sowohl für die chirurgische wie für die medizinische Abteilung eine eigene Röntgenstation, welche jede von der anderen unabhängig, durch verschiedene Schwestern oder Assistenten geleitet wird, geschaffen. Selbstverständlich kommt es hierbei nicht zu einem gedeihlichen Zusammenarbeiten, so daß die Erfahrungen, welche die eine Station sammelt, für die andere verloren sind. Die Kosten, die durch einen solchen Doppelbetrieb bedingt werden, übersteigen meist das für die Station ausgeworfene Budget. Es ist dieses ganz natürlich, da eine Röntgenstation, deren Leiter keine gründliche Sachkenntnis besitzt, selbstverständlich ein willkommenes Objekt für Lieferanten

aller Art ist. Bei den Neuanschaffungen ist infolge des ungeheuren Angebots eine außerordentlich kritische Auswahl am Platze. Werden beispielsweise unzweckmäßige Röhren gekauft, so ist der Schaden nicht unbedeutend, da dieselben nur kurze Zeit funktionieren und infolgedessen nicht diejenige Arbeit leisten, welche man ihrem Preise entsprechend von ihnen verlangen kann. Das gleiche gilt von dem Plattenverbrauch, der bei unsachgemäßer Verwaltung der Station sehr leicht erheblich anschwellen kann und dadurch zu wesentlichen Kosten Veranlassung gibt.

Unsachgemäße Verwaltung der Institute

Es ist nicht zu leugnen, daß sich die Assistenten nach einigen Monaten einarbeiten. Da sie aber selten länger als ein Jahr die Röntgenstation behalten, so nehmen sie die gemachten Erfahrungen bei ihrem Abgange mit sich fort, und dem Nachfolger bleibt nichts anderes übrig, als wieder von neuem anzufangen und auf Kosten der Anstalt Erfahrungen zu sammeln. Befindet sich die Station ausschließlich in den Händen von Schwestern, so wird sehr bald ein gewisser Schematismus einreißen, welcher ebenfalls der Vervollkommnung der Technik hindernd in den Weg tritt.

Die geschilderten, für die Entwicklung des Röntgenverfahrens an Kliniken und Krankenhäusern so nachteiligen Zustände sind denn auch die Veranlassung geworden, daß sich noch immer viele klinische Chefs skeptisch über den Wert der Röntgendiagnostik äußern. Wenn auch auf dem chirurgischen Gebiet die Anerkennung der Erfolge der Röntgendiagnostik im allgemeinen nicht ausgeblieben ist, so kann man dieses von der internen Diagnostik nicht sagen. Feinere Untersuchungen, z. B. bei beginnenden Spitzenerkrankungen, bei Herz- und Schlagadererkrankungen usw., werden im allgemeinen viel zu wenig ausgeführt und dementsprechend auch nicht genügend gewürdigt. Es nützt nichts, daß Bücher und Atlanten in großer Zahl geschrieben werden, wenn nicht in erster Linie in jedem Krankenhaus oder in jeder Klinik, welche sich überhaupt mit der Röntgendiagnostik beschäftigt, Mittel und Wege gefunden werden, den geschilderten Übelständen abzuhelfen.

Selbständige Röntgeninstitute

Meines Erachtens ist der Hauptpunkt, auf welchen es ankommt, die Selbständigmachung der Röntgenabteilung sowohl von der inneren wie von der chirurgischen Abteilung. Hierfür haben wir bereits Vorbilder z. B. in Wien, in Hamburg (*Krankenhaus St. Georg*) und neuerdings auch in Berlin (*Virchow-Krankenhaus*, *Krankenhaus am Urban, Krankenhaus Moabit*). Die Arbeiten, welche von der Zentral-Röntgenstation der Wiener Kliniken publiziert worden sind, zeugen von der Leistungsfähigkeit dieses Institutes.

Die Röntgenstation muß unter einem für mehrere Jahre

definitiv angestellten und wiederwählbaren ärztlichen Leiter stehen, welcher seine Erfahrungen und Kenntnisse den unter ihm arbeitenden Assistenten übermittelt und im Wechsel des Personals der ruhende Punkt bleibt. Ferner sollte für die chirurgische und medizinische Abteilung einer Klinik resp. eines Krankenhauses, wenn möglich nur eine gemeinsame Röntgenstation bestehen, welche ihrerseits wiederum in eine medizinische, chirurgische und therapeutische Abteilung zerfällt. Ärztlicher Leiter Zentralisierung

Eine Trennung der Röntgen-Abteilungen ist ein schwerwiegender und die gedeihliche Arbeit in Zweifel stellender Fehler. Nur bei Vereinigung der gesamten Röntgen-Station in einer Hand, welche dauernd die Leitung führt, kann praktisch und wissenschaftlich Ersprießliches geleistet werden. Die Technik wird von Tag zu Tag komplizierter, die Anwendungsgebiete der Röntgenstrahlen immer ausgedehnter und die Grenzen zwischen internen und chirurgischen Röntgenuntersuchungen gehen ineinander über. Ich erinnere an die Magen- und Darmuntersuchungen, an die Nierensteintechnik, an die Lokalisation von Lungenabszessen, Tumoren und anderes mehr.

Schließlich ist von der Unwirtschaftlichkeit im Doppelbetriebe zu sprechen. Die erforderlichen Apparate müssen zum größten Teil doppelt angeschafft werden; der Röhrenkonsum wird außerordentlich gesteigert und damit das Jahresbudget schwer belastet. Sodann ist daran zu denken, daß doppelte Bedienung vorhanden sein muß und anderes mehr. Bei Zusammenfassung der Röntgenarbeiten in einem Institut wird die Ersparung so groß sein, daß allein von ihr das Gehalt eines Spezialarztes bestritten werden kann. Unwirtschaftlichkeit dezentralisierter Betriebe

Die Arbeit des Röntgeninstituts darf nicht als subordinierte diagnostische Hilfsleistung betrachtet werden, sondern sie soll das gleiche Ansehen genießen wie z. B. die Arbeiten der den Krankenhäusern angegliederten pathologischen Institute. Hierdurch wird der Ehrgeiz der auf den Röntgenstationen arbeitenden Ärzte angestachelt, so daß sie in den Wettbewerb mit den Stationen anderer Krankenhäuser und Kliniken treten, wodurch gute und brauchbare wissenschaftliche Ergebnisse erzielt werden. Gelegenheit, bei welchen die Röntgeninstitute ihre Leistungen einem großen ärztlichen Publikum zugänglich machen können, gibt es in Fülle. Ich erwähne nur die zahlreichen Ausstellungen, welche gelegentlich der verschiedenen Kongresse stattfinden, sowie die Kurse für Ärzte und Studierende auf diesem Gebiet medizinischer Diagnostik.

Wenn ich im folgenden einen Vorschlag über die Organisation eines größeren Röntgeninstitutes für ein Krankenhaus von etwa 1500—2000 Betten mache, so lege ich hierbei meine Erfahrungen Organisation eines großen Institutes

Krankenhaus St. Georg in Hamburg

im *Krankenhaus St. Georg in Hamburg* zugrunde, wobei ich bemerke, daß, wenn auch nicht alle der im nachfolgenden zu schildernden Einrichtungen daselbst durchgeführt werden konnten, trotzdem ein ausgezeichnet funktionierender Betrieb, welcher für die Zukunft viel Gutes verspricht, gegründet worden ist.

b) Entwurf für die Verwaltung eines Röntgeninstitutes an einer Universitätsklinik oder einem großen Krankenhaus, sowie Dienstanweisung für das Personal.

Verwaltung

Das Röntgeninstitut soll den diagnostischen und therapeutischen Zwecken des Krankenhauses dienen. Es ist daher bei völliger Selbständigmachung des ersteren ein möglichst inniger Zusammenhang zwischen der chirurgischen und inneren Abteilung und dem Röntgeninstitut erforderlich.

1. Der dirigierende Arzt.

Dirigierender Arzt und seine Pflichten

Das Röntgeninstitut steht unter der Oberleitung eines dirigierenden Arztes.

Der dirigierende Arzt der Röntgenstation wird für eine Amtsdauer von sechs Jahren angestellt.

Der dirigierende Arzt der Röntgenstation ist der alleinige Leiter des Röntgeninstitutes und als solcher nur dem ärztlichen Direktor des Krankenhauses oder der Klinik unterstellt.

Der dirigierende Arzt der Röntgenstation verwaltet selbständig das für das Röntgeninstitut ausgesetzte Budget. Er entscheidet über die Anschaffung neuer Apparate, sowie über die zur Anwendung kommende Technik usw. Ferner sind die Räume des Institutes, die Apparate und das übrige Inventar seiner Aufsicht unterstellt.

Der dirigierende Arzt der Röntgenstation hat sich die wissenschaftlich-technische Ausbildung der Assistenzärzte, sowie des Personals (Schwestern) angelegen sein zu lassen und darauf zu achten, daß Ärzte und Personal der für das Röntgenfach gültigen Dienstanweisung jederzeit nachkommen.

Der dirigierende Arzt der Röntgenstation hat die wissenschaftlichen Arbeiten, die therapeutischen Bestrahlungen, die internen Durchleuchtungen, die chirurgische Plattendiagnostik zu überwachen. In schwierigen Fällen nimmt er persönlich Durchleuchtungen und Aufnahmen vor.

Er hat ferner dafür Sorge zu tragen, daß genaue Aufzeichnungen über die gestellten Diagnosen, über die therapeutischen Bestrahlungen, ferner über den Materialverbrauch gemacht werden.

Häufig ist die Frage aufgeworfen worden, wer bei etwaigen Röntgenschädigungen der Patienten oder des Personals des Institutes die haftbare Persönlichkeit sei.

Was zunächst die Schädigung der Patienten angeht, so muß nach Kirchberg eine durch Unkenntnis auf dem Gebiete der Röntgenologie verursachte Schädigung nach § 230 Abs. 2 des StGB. als fahrlässige Körperverletzung angesehen werden. Ebenso ist der betreffende Arzt oder wer sonst die Schuld für die Schädigung trägt, nach § 823 Abs. 1 des BGB. zivilrechtlich zum Schadenersatz verpflichtet. Außer der Unkenntnis der möglichen Schädigungen stellt sich auch die Unterlassung der Anwendung von Schutzmaßregeln als Fahrlässigkeit dar, wodurch eine Strafe von Mk. 900, in Fällen, wo der Betreffende die Vorsicht, zu welcher er durch seinen Beruf verpflichtet war, außer acht gelassen hatte, Gefängnis verwirkt wird. Haftpflicht

In gleichem Sinne haftet der Arzt nach § 831 des BGB. für seine Assistenten und Angestellten. Assistenten und Gehilfen sind nach denselben Grundsätzen wie der Arzt selber haftbar. Auch für immaterielle Schäden, z. B. kosmetische Entstellungen, Haarausfall, unbeabsichtigte Sterilisierung haftet der Arzt. Aus diesen Gründen ist es unbedingt erforderlich eine genau spezifizierte Haftpflichtversicherung einzugehen. Vorkommendenfalls übernimmt die Gesellschaft die Vertretung vor Gericht, wodurch der Arzt vor allen Unannehmlichkeiten bewahrt wird. Was sodann den Schutz der Assistenten und Schwestern in Krankenhäusern und Kliniken angeht, so übernehmen nach § 618 des BGB. die Direktoren und Chefärzte ihren Röntgenassistenten und dem Personal gegenüber die Verpflichtung für ausreichende Schutzmaßregeln, wie sie dem jeweiligen Stande der Technik entsprechen, zu sorgen und die in der Röntgenabteilung beschäftigten Personen durch Belehrung über die Gefahren und ihre Vermeidung aufzuklären. Bei Unterlassung dieser Schutzmaßregeln sind die Krankenhausvorsteher für Schädigungen haftbar.

Aus den vorstehenden Gesichtspunkten ergibt sich die Notwendigkeit, genügende Schutzvorrichtungen für Patienten und Ärzte in den Röntgeninstituten bereit zu stellen. Während für Schutzmaßregeln gegenüber den Patienten zurzeit wohl in weitem Maße überall gesorgt ist, kann man leider in der Mehrzahl der Krankenhäuser ein Gleiches von der Fürsorge für die Ärzte und das Personal nicht sagen. Ein wirklich vollkommener Schutz ist nur möglich bei Benutzung des von mir angegebenen Bleischutzhauses. Dieses ist jetzt in einer außerordentlich großen Anzahl von Kliniken und Krankenhäusern eingeführt worden und hat sich besonders deswegen bewährt, weil es den Betrieb in keiner Weise erschwert. Die Regulierung der Röhre, die genaue Kenntnisnahme ihres Härtegrades, werden schnell und bequem mit den unten angegebenen Vorrichtungen vom Schutzhaus aus, erreicht. Da Dunkelheit in ihm herrscht, so ist eine Ablesung der Härteskala durch die gut adaptierten Augen des Arztes leicht und mit großer Sicherheit auszuführen. Schutzvorrichtungen

2. *Der Assistenzarzt.*

Von der chirurgischen oder medizinischen Abteilung wird, falls nicht ein eigener Röntgenassistent vorhanden ist, jährlich ein Assistenzarzt in das Röntgeninstitut abgeordnet. Dieser untersteht für die Zeit seiner Tätigkeit im Röntgeninstitut dem dirigierenden Assistenzarzt

Arzt desselben, von welchem er Unterweisung in der Röntgentechnik erhält. Nach vollendeter Ausbildung ist der Assistenzarzt berechtigt, selbständig die vorkommenden Aufnahmen für die chirurgische resp. die medizinische Station, sowie die erforderlichen Durchleuchtungen vorzunehmen. Über jede derselben hat er einen kurzen schriftlichen Bericht auszuarbeiten, welcher in Kopie der betreffenden Station des Kranken zugeht. In der Abwesenheit des dirigierenden Arztes vertritt der Assistenzarzt.

Die therapeutischen Bestrahlungen werden ebenfalls vom Assistenzarzt wahrgenommen, jedoch hat er sich über die Zahl der Sitzungen, sowie über die Dosierung der Bestrahlung stets im Einvernehmen mit dem leitenden Arzt zu halten.

3. Der Volontärarzt.

Volontärarzt

In größeren Betrieben, in welchen kein Mangel an Volontärärzten besteht, empfiehlt es sich, einen solchen auf die Röntgenabteilung abzuordnen. Der Volontär untersteht dem Assistenten in gleicher Weise, wie dieses auf den übrigen Stationen gebräuchlich ist. Er hat in erster Linie dem Assistenten zu helfen und ihn bei Abwesenheit zu vertreten.

4. Die Schwestern.

Röntgenschwestern

Für jedes Röntgeninstitut größeren Umfanges sollten zwei Schwestern zur Verfügung stehen. Diese dürfen auf anderen Stationen und zu anderen Diensten nicht herangezogen werden. Nachdem sie vollständig durch den leitenden Arzt und den Assistenten ausgebildet worden sind, führen sie die Untersuchungen unter der Oberleitung der beiden erstgenannten selbständig aus. Vor allen Dingen fällt ihnen die photographische Tätigkeit, sowie die weitere Verarbeitung der Platten zu. Ferner haben sie für die Ordnung und Reinhaltung des ganzen Institutes zu sorgen. Die therapeutischen Bestrahlungen dürfen sie im allgemeinen nur im Beisein des leitenden oder des Assistenzarztes vornehmen. Sie haben ferner darüber zu wachen, daß eine geordnete Buchführung, sowie Registrierung der Platten stattfindet. Die Aufbewahrung der letzteren haben sie ebenfalls zu besorgen. Es ist zu empfehlen, zwei Schwestern gleichzeitig zu beschäftigen, damit im Krankheitsfalle oder bei Beurlaubungen keine Störung des Betriebes entsteht. Naturgemäß werden die Schwestern, welche nicht so häufig wechseln wie die Assistenten, sondern event. jahrelang die Röntgenstation behalten, sich sehr bald eine große technische Erfahrung und Kenntnis aneignen, so daß sie neueintretenden Assistenten meist überlegen sein werden. Der dirigierende Arzt hat

zu verhüten, daß hierdurch Mißhelligkeiten persönlicher Natur entstehen. Stationen, welche keinen dirigierenden Arzt haben, werden sehr oft die Erfahrung machen, daß derartige Konflikte zwischen Schwestern und Assistenten die Erfolge der Arbeiten wesentlich in Frage stellen.

c) Beispiel einer großen Einrichtung.

Einrichtung des Krankenhauses St. Georg in Hamburg

Als Muster einer großen Anlage möge im folgenden die Beschreibung des von mir im allgemeinen *Krankenhaus St. Georg in Hamburg* eingerichteten und inzwischen weiter ausgestalteten Institutes folgen. Dieses Institut wurde als erste große Einrichtung in Deutschland im Jahre 1905 eröffnet und hat seither allen Anforderungen so vollkommen entsprochen, daß es in zahlreichen Städten des In- und Auslandes mit geringen, durch die lokalen Verhältnisse bedingten Abweichungen nachgebildet wurde. (Siehe den Situationsplan im Anhang.) Sechs Gesichtspunkte sind in erster Linie berücksichtigt worden:

1. Das Institut soll sämtliche Arbeiten der medizinischen und chirurgischen Station übernehmen, sowie alle therapeutischen Aufgaben erfüllen.
2. Sämtliche Untersucher, sowohl Ärzte wie Schwestern, sollen bei ihren Arbeiten in dem Institut gegen Bestrahlungen ihres eigenen Körpers absolut geschützt sein.
3. Die täglich vorzunehmenden Untersuchungen sollen im Interesse der Kranken schnell erledigt werden, so daß etwaige chirurgische Eingriffe sofort im Anschluß an die Untersuchung vorgenommen werden können.
4. Alle Hilfsapparate sollen jederzeit gebrauchsfertig sein und ihre festen Plätze im Laboratorium erhalten, so daß ein durch Aufstellen der Apparate bedingter Zeitverlust vermieden wird.
5. Da trotz der genügend großen Räumlichkeiten, infolge der Größe mancher Hilfsapparate der Raum bestens ausgenutzt werden muß, so soll bei der Aufstellung der Apparate auf diesen Punkt ganz besondere Rücksicht genommen werden.
6. Das Institut soll nicht allein den praktischen Bedürfnissen des Krankenhauses gerecht werden, sondern es soll auch ein Muster-Versuchs- und Lehrinstitut der Röntgenologie sein.

Das Röntgeninstitut liegt im ersten Stock des Operationshauses und besteht aus drei miteinander durch Türen verbundenen großen,

hellen Räumen. Da das Krankenhaus mit einem Dreileitersystem versehen ist, so stehen je nach Wunsch 110 oder 220 Volt Spannung zur Verfügung. Alle Leitungen laufen in Röhren innerhalb der Wände und Fußböden, so daß von ihnen im Institut nichts zu erblicken ist. Ein Personenaufzug öffnet sich nach beiden Zimmern. An letztere schließt sich unmittelbar ein als Dunkelkammer dienender Raum an. Um das an und für sich unwahrscheinliche Durchdringen von Strahlen aus dem Untersuchungsraum in das Dunkelzimmer durch die steinerne Wand sicher zu verhindern, wurde unter der Verputzung der betreffenden Dunkelzimmerwand in einer Höhe von 1,80 m eine $^1/_2$ mm dicke Bleiplatte eingelassen. Die Wände **Dunkelzimmer** des Dunkelzimmers sind mit glasierten Kacheln verkleidet. Der Fußboden ist mit matten schwarzen Kacheln bedeckt. Der Eingang in das Dunkelzimmer führt durch einen Vorraum, welcher dazu dient, dem Tageslicht beim Betreten des Dunkelzimmers den Zutritt zu verwehren. Das letztere ist gegen den Vorraum, und der Vorraum gegen das Untersuchungszimmer durch Türen abgeschlossen. Die Tür zwischen Vorraum und Dunkelkammer trägt einen Bleibeschlag, da sich herausgestellt hatte, daß Sekundärstrahlen auf dem Weg durch den Vorraum in das Dunkelzimmer eindringen konnten.

Verstärkungsraum Im Vorraum befindet sich ein mit Wasserzufluß und -abfluß versehener Spültisch, welcher bei Verstärkungsarbeiten mit Quecksilberlösungen zur Verwendung kommt. Da das Sublimat sehr leicht zu Verunreinigungen der photographischen Lösungen führen kann, so war die Absonderung dieser Arbeiten in einem besonderen Raum erforderlich.

Das Dunkelzimmer hat ein großes, lichtdichtes Fenster, in welchem eine Rubinglasscheibe eingelassen ist. Die Lüftung des Zimmers kann in ausreichendem Maße stattfinden. An der Längswand des Dunkelzimmers sind zwei große Spültische mit Wasserzufluß und -abfluß aufgestellt, ferner ein durch einen Elektromotor angetriebener, selbsttätiger Entwicklungsschaukeltisch. Die nötigen Chemikalien finden gegenüber dem Spültisch auf einem Bord Aufstellung. Für die Auswässerung von Papierabzügen ist ein mit Wasserzufluß und -abfluß versehener metallener Spülkasten angebracht. Das zufließende Wasser tritt in denselben von unten hinein und veranlaßt so Wirbelbewegungen, wodurch das Zusammenkleben von mehreren Papierabzügen verhindert wird. Das gebrauchte Wasser fließt durch einen Überlauf ab.

Im ersten Untersuchungszimmer finden die Aufnahmen zu chirurgischen Zwecken, sowie Durchleuchtungen, ferner therapeu-

tische Bestrahlungen, welche mit der Kompressionsblende ausgeführt werden, statt.

Im zweiten Zimmer sind die zur Herzmessung bestimmten orthoröntgenographischen Einrichtungen, sowie das Trochoskop nach Haenisch, welches zu Operationen im direkten Röntgenlicht und zu dorsoventralen Thoraxaufnahmen und Durchleuchtungen dient, aufgestellt.

Die Schutzvorrichtung besteht aus einem Haus von 172 cm Länge, 92 cm Breite, 195 cm Höhe (Fig. 123). Es ist an seiner Innenseite lichtdicht mit Blei ausgeschlagen und letzteres mit einem Ölfarbenanstrich (um Bleivergiftungen zu vermeiden) versehen. In diesem Kasten haben drei Personen bequem Platz. Da der Raum des Untersuchungszimmers durch ein so großes Schutzhaus sehr erheblich beeinträchtigt wird, so mußte darauf Bedacht genommen werden, das Haus auch für andere Zwecke des Laboratoriums bestmöglichst dienstbar zu machen. Dieses wurde so erreicht, daß der Induktor seinen Platz auf dem Dach des Schutzhauses erhielt, so daß ein Stativ für ihn überflüssig wurde. Da das Laboratorium auch für Versuchszwecke bestimmt ist und namentlich auch Induktoren verschiedener Fabrikation hier praktisch ausprobiert werden sollen, so wurde der für den steten Gebrauch bestimmte 80 cm-Induktor auf das eine Ende des Kastens gesetzt, so daß genügend Platz auf dem Dache für die Aufstellung von weiteren Induktoren blieb. Die beliebige Einschaltung der letzteren erfolgt mittels eines mehrpoligen Umschalters direkt vom Rheostaten aus. Man ist also in der Lage, bei der Arbeit unmittelbar von einem auf den anderen Induktor übergehen zu können, was bei Vergleichsversuchen von großem Werte ist. Der Rheostat in Tischform steht an der Schmalseite im Innern des Kastens und ist durch das Dach hindurch mittels isolierter Kabel mit dem Induktor verbunden. Hat man genügend Platz zur Verfügung, dann setze man den Widerstand an die äußere Schmalseite des Schutzhauses und bediene ihn durch eine daselbst angebrachte Öffnung. Bei dieser Aufstellung ist im Schutzhaus völlige Dunkelheit, da das Licht der Rheostatlampe beseitigt, und der beim Ausschalten entstehende Lichtbogen abgeblendet ist. An der einen Längsseite befinden sich die Schalttafeln für den außerhalb des Zimmers aufgestellten Transformatorapparat nach Snook oder Reiniger, Gebbert & Schall (Idealapparat). Schutzhaus

Außerdem sind sämtliche für den Betrieb erforderlichen Sicherungen, sowie die meisten Lichtschalter des Untersuchungs-

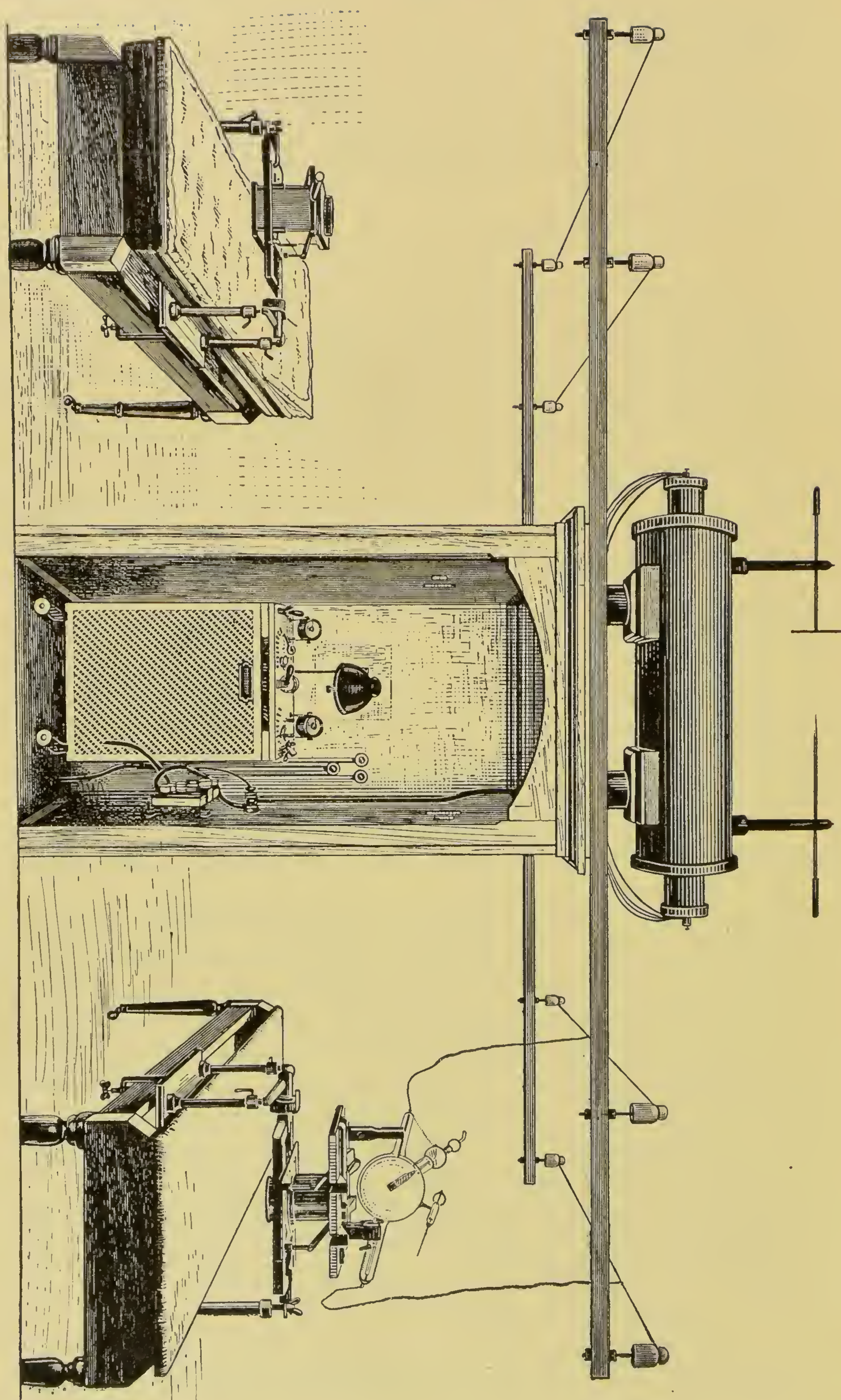


Fig. 123.

zimmers im Schutzhause. Ferner ist in ihm ein Generalausschalter für den Betriebsstrom des ganzen Institutes in einem verschließbaren Schrank, zu welchem nur die zur Benutzung der Apparate berechtigten Personen den Schlüssel besitzen, angebracht. Soll eine Röntgenröhre eingeschaltet werden, so kann dieses nur dann geschehen, wenn sich der Untersucher in den Kasten hinein an den Rheostaten begibt. Er befindet sich dann unter allen Umständen in völliger Deckung. Da erfahrungsgemäß im Laufe der Zeit das Personal in der Befolgung der Sicherheitsvorschriften nachlässig wird, so wurde durch diese Aufstellung des Rheostaten dafür gesorgt, daß ein Inbetriebsetzen der Apparate nur dann möglich ist, wenn sich der Untersuchende im Schutzhause befindet. Wir sehen, daß bei den Arbeiten nicht nur ein vollkommener Schutz des Gesamtkörpers des Personals gewährleistet wird, sondern daß auch jegliches Arbeiten mit den Händen in der Nähe der Röhre, wie dieses früher beim Regulieren oder bei der Härtebestimmung unerläßlich war, ausgeschlossen ist. In den beiden Längswänden des Schutzkastens befindet sich je ein Bleiglasfenster, sowie je eine nach den parallel zum Kasten beiderseits aufgestellten Untersuchungstischen gerichtete Härteskala. Die Feststellung des Härtegrades der Röhre wird also aus einer Entfernung von ca. $1^1/_2$ m vorgenommen. Bei diesem Abstand ist mittels der von mir speziell für die Distanzmessung abgeänderten Walterschen Skala (siehe S. 98) eine außerordentlich genaue Bestimmung des Härtegrades möglich. Die Exaktheit des Ablesens wird noch dadurch erhöht, daß sich der Untersucher im Dunkel des Schutzhauses befindet, mithin seine Augen durch das Fluoreszenzlicht der Röhre nicht geblendet werden können. Nach den zu beiden Seiten des Schutzkastens aufgestellten Untersuchungstischen verläuft eine Fadenleitung, welche an dem Regulierdraht der Röhre mittels einer Klemmschraube befestigt wird. Mit Hilfe eines an dieser Leitung befindlichen Gewichtes kann vom Innern des Kastens aus, je nach Bedarf der Regulierdraht dem negativen Pol der Röhre genähert, und somit das erforderliche Vakuum eingestellt werden. Rechts und links sind in Dachhöhe des Schutzkastens zwei Stangen, auf welchen sich Isolatoren befinden, angebracht. Die letzteren sind mit je zwei parallelen, 50 cm voneinander entfernten, in der Längsrichtung der Untersuchungstische verlaufenden Messingdrähten verbunden. An diese Drähte werden die Zuführungskabel nach Zwischenschaltung eines Milliampèremeters (cf. physikalischen Teil) der Röntgenröhre angehakt. Der Strom wird vom Induktor in der später zu beschreibenden Weise direkt in die Messingdrähte geleitet. Die Außenseite des Schutzhauses dient zur Aufhängung

Härteskala für Distanz

Regulierung auf Distanz

Milliampèremeter

solcher Normalbilder, welche stets im Laboratorium gebraucht werden, z. B. Moritz'sche Skizzen des normalen Herzens für die Orthoröntgenographie oder die Groedel'schen schematischen Bilder der Herzfehler usw.

Sollen Durchleuchtungen vorgenommen werden, so wird nur das auf dem Rheostaten befindliche Glühlicht eingeschaltet, denn das aus dem Eingang des Kastens herausdringende und von der Wand reflektierte Licht genügt vollständig, um alle im Zimmer befindlichen Gegenstände zu erkennen und ist dabei doch so schwach, daß sich die Augen des Untersuchers genügend für die Beobachtung auf dem Leuchtschirm ausruhen können. Zeigt sich z. B. bei einer Untersuchung des Ösophagus, daß die Herstellung eines Wismutbolus erforderlich ist, so kann dieselbe im Innern des Schutzkastens bei guter Beleuchtung vorgenommen werden, ohne daß im Zimmer Licht gemacht wird. Wir sehen also, daß die vorbeschriebene Schutzvorrichtung außer ihrem eigentlichen auch noch verschiedene sehr wesentliche Nebenzwecke erfüllt.

Blenden-aufstellung

Rechts und links neben dem Schutzkasten ist je ein mit verschiebbarer Kompressionsblendenvorrichtung versehener Untersuchungstisch aufgestellt. Der rechtsseitige wird für schwerverletzte Patienten, welche in liegender Stellung untersucht werden sollen, benutzt. Er ist vor dem Personenaufzug so postiert, daß der Kranke, welcher mittels des letzteren in den Untersuchungsraum befördert wird, entweder mit der Tragbahre oder ohne dieselbe direkt auf den Tisch gehoben werden kann. Es ist dieses namentlich bei schweren Frakturen im Interesse der Schmerzersparung sehr wesentlich, da der Patient nur wenig gerührt zu werden braucht. Der links neben dem Schutzkasten stehende Tisch dient vorwiegend solchen Untersuchungen, welche in sitzender Stellung ausgeführt werden. An der ihm benachbarten Zimmerwand ist ein Wandarm befestigt, mit welchem Aufnahmen, die ohne das Blendenverfahren hergestellt werden sollen (Kiefer, Zähne), gemacht werden können. Die Benutzung von zwei Untersuchungstischen gestattet ein sehr schnelles Arbeiten. Ist nur ein Tisch vorhanden und ist dieser besetzt, so muß man mit der nächsten Untersuchung unter Umständen sehr lange warten, da der Patient in schweren Fällen nicht eher vom Tisch genommen werden darf, als bis man sich im Dunkelzimmer davon überzeugt hat, daß die Aufnahme gelungen ist. Verfügt man über zwei Tische, so kann während der Entwicklungszeit auf dem andern Tisch, welcher nicht besetzt ist, weitergearbeitet werden.

Apparat für vertikale Ortho-röntgenographie

An der Schmalseite des Schutzhauses sind die Bleikistenblende mit dem neuerdings von mir angegebenen Apparat für Vertikal-

orthoröntgenographie und der Universaluntersuchungsstuhl (siehe oben), welche allen Untersuchungen mittels des Leuchtschirms, sowie für Momentaufnahmen im Sitzen oder Stehen dienen, ferner die Vorrichtung für die Teleröntgenographie aufgestellt. Der Raum ist so bemessen, daß eine größere Anzahl von Zuschauern, um den Demonstrationen zu folgen, bequem vor der Blende Aufstellung nehmen kann.

Die Durchleuchtungsvorrichtung löst die Aufgabe des Schutzes des Personals so weit als möglich. Außerdem gewährt sie den großen Vorteil, daß der Untersucher, frei von technischen Nebenaufgaben der Apparatenbedienung, sich lediglich der Beobachtung des Kranken widmen kann.

Eine seitlich von der Beleuchtungskiste stehende Schwester regelt auf Kommando die Höheneinstellung, sowie die Blendenweite, während am Widerstand die im Schutzhaus befindliche Schwester die Stromregulierung ebenfalls auf Kommando vornimmt. Durch Ausschaltung alles störenden Fluoreszenzlichtes der Röhre, gewinnen die Bilder außerordentlich an Schönheit und Deutlichkeit.

Da es mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, bei drei Apparaten, welche in drei verschiedenen Richtungen vom Induktor aufgestellt sind und welche beliebig auch an den Transformatorapparat angeschlossen werden sollen, die nötigen Kabelverbindungen herzustellen, so ließ ich einen Hochspannungsumschalter, einen bislang in der Röntgentechnik unbekannten Apparat konstruieren.

Hochspannungs-umschalter

Der Hochspannungs-Umschalter besteht aus einem an der Decke des Zimmers befindlichen Brett, auf welchem sich in der Art wie die Fig. 124 zeigt 8 dicke Glasstäbe befinden, die an ihren unteren Enden Messingkappen tragen. Die Stäbe c und d stehen in dauernder Verbindung mit den sekundären Klemmen des Induktor. Ist die Holzschiene e in der in der Figur angegebenen Weise eingestellt, so geht der Strom von den Klemmen des Induktor über c und d nach a und b. Die Überleitungen finden mittels zweier Federn h und h_1 statt. a und b stehen in dauernder fester Verbindung mit der Bleikistenblende. Durch Zug an dem Faden f wird das Brett e nach links herumgedreht, so daß die Federn h und h_1 mit a_1 und b_1 in Kontakt kommen, und zwar tritt die Feder h mit b_1 die Feder h_1 mit a_1 in Berührung. Die auf der rechten Seite des Brettes e angebrachte Feder h_1 bleibt durch ein Kabel mit der Klemme d in Verbindung. Der Strom geht nunmehr von c und d direkt nach a_1 und b_1, welche beiden letzteren Kontakte in dauernder Verbindung mit den über dem linksseitig aufgestellten Untersuchungstisch befindlichen, obenerwähnten Messingdrähten stehen. Die Rückwärtsbewegung des Brettes e aus der

ebengenannten, in die zuerst beschriebene Stellung geschieht durch einen Gewichtszug nach Lösung der Schnur f. In gleicher Weise können die Punkte a_2 und b_2 nach Drehung des Brettes e infolge

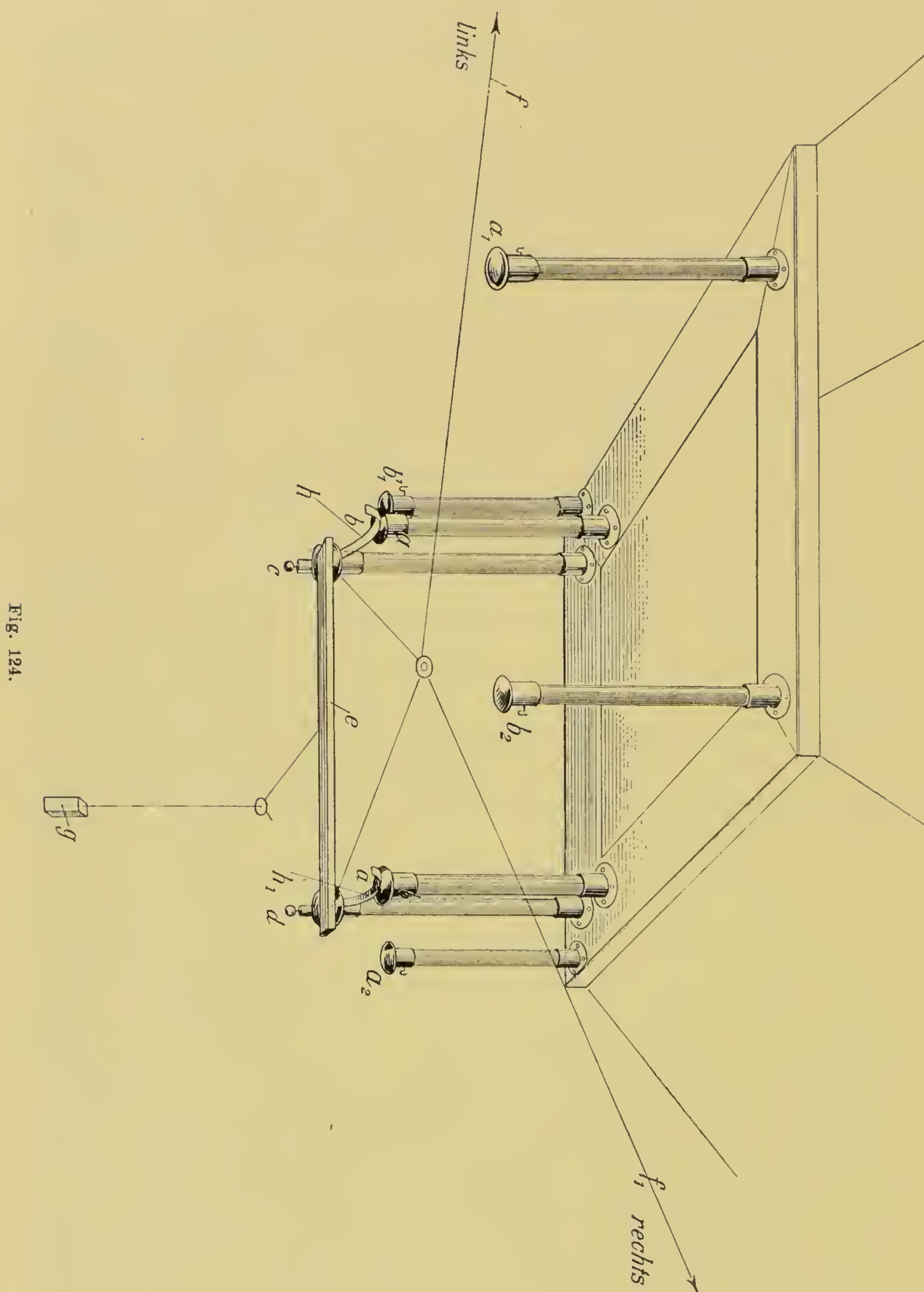


Fig. 124.

Zug an der Schnur f_1 nach rechts mit den Federn h und h_1 in Verbindung gebracht werden. Feder h_1 tritt mit a_2 und Feder h mit b_2 in Kontakt. An dem der Klemme c zugekehrten Ende des

Brettes *e* befindet sich ebenfalls eine kurze Kabelleitung, welche die dauernde Verbindung der Feder *h* mit *c* auch dann sichert, wenn sich das Brett *e* nach rechts dreht, a_2 b_2 stehen in gleicher Weise wie a_1 b_1 mit den über dem rechtsseitig aufgestellten Tisch befindlichen Messingdrähten in dauernder Verbindung. Die Rückkehr aus der ebenbeschriebenen, in die auf der Fig. 124 eingezeichnete Stellung findet wiederum durch den Gewichtszug nach Lösung der Schnur f_1 statt. Der Mechanismus ist ein außerordentlich einfacher. Irgendwelche Verwechslungen der Pole sind gänzlich ausgeschlossen; auch erkennt man auf den ersten Blick aus der Stellung des Brettes *e*, welcher der drei Apparate eingeschaltet ist.

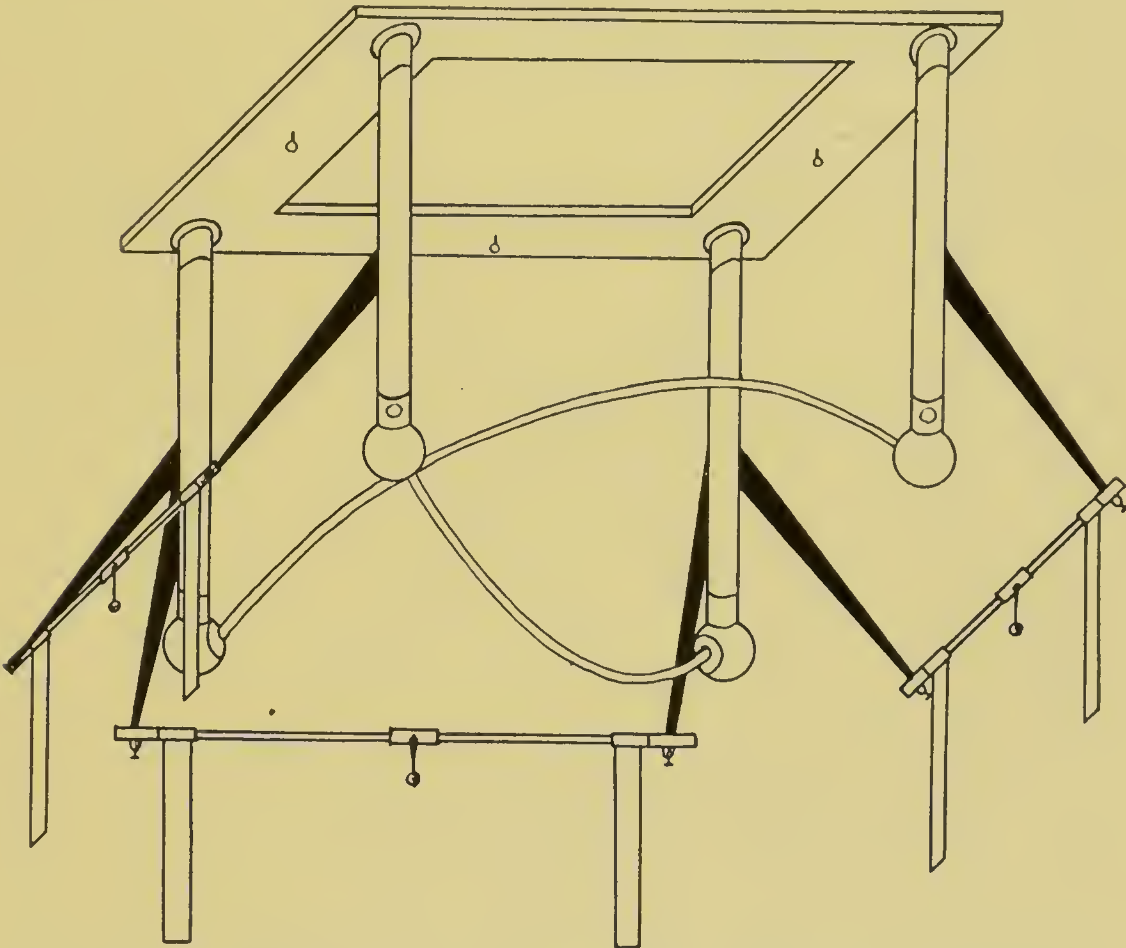


Fig. 125.

Genau nach demselben Prinzip, aber in einer Form vereinfacht, ist ein zweites Modell Fig. 125 konstruiert.

Auf einem viereckigen Grundbrett, das an der Decke befestigt wird, stehen vier Säulen aus Hartgummi. An den Enden dieser Säulen ist eine metallene Kappe angebracht und zu diesen Kappen wird der Sekundärstrom des Induktors oder Transformatorapparates geführt. Verbesserter Hochspannungsumschalter

Beim Hochspannungsumschalter für drei Verbrauchsstellen werden an den Säulen metallene Hebel so befestigt, daß durch eine Schnur, die beliebig an der Wand heruntergeführt werden kann, die Hebel mit den Kappen leitend verbunden werden.

Von den Hebeln führen die Verbindungsdrähte zu den betreffenden Verbrauchsstellen, so daß diese leicht in den Sekundärstromkreis des Induktors einzuschalten sind. (Fig. 126, Aufsicht.)

Fig. 126.

Diese Vorrichtungen bedeuten für den Untersucher eine große Erleichterung, da die lästige Kabelzuführung zur Röhre vollkommen in Wegfall kommt.

Die für die beiden Arbeitsräume erforderlichen Wehneltschen Unterbrecher befinden sich in einem entfernt liegenden Raum. Ist man nicht im Besitz eines schalldicht eingebauten Transformatorapparates, dann empfiehlt es sich auch diesen, des im Betrieb erzeugten Geräusches wegen, außerhalb des Laboratoriums aufzustellen und ihn durch in Hartgummistangen verlegte Kabel mit dem letzteren zu verbinden.

Der Gang einer Untersuchung gestaltet sich etwa folgendermaßen: Patient wird auf dem Tisch gelagert. Die Blende wird in der später zu beschreibenden Weise eingestellt und der zu untersuchende Körperteil durch dieselbe fixiert. Die auf dem Röhrenbrett stets zentriert eingestellte Röhre wird auf die Blende aufgesetzt. Die über dem Tisch verlaufenden parallelen Zuleitungskabel werden mit den Polen der Röhre verbunden und an den Regulierdraht der letzteren die Regulierschnur befestigt. Der Hochspannungsumschalter wird für den in Betracht kommenden Apparat, sowie für den Untersuchungstisch eingestellt. Der Arzt begibt sich in das Schutzhaus und schaltet ein. Soll nun z. B. unmittelbar nach einer solchen Aufnahme eine Durchleuchtung stattfinden, so kann dieses ohne jeden Zeitverlust geschehen. Es ist nur erforderlich, den Hochspannungsumschalter durch einen Zug an der Schnur des letzteren für die Bleikistenblende einzustellen.

Als Beleuchtung dient für beide Untersuchungstische je ein senkrecht über denselben hängender Pendel. Ferner ist zur allgemeinen Erhellung des Raumes eine Deckenbeleuchtung vorgesehen.

Der beschriebene Raum hat zwei große Fenster, mit je einer ungeteilten Mattglasscheibe. In dem Fensterrahmen sind an einer Schiebevorrichtung horizontal verlaufende, nach oben und unten verstellbare Eisenschienen, in welche Negative aller Formate eingesetzt werden können, angebracht. Fig. 127. Jedes Fenster kann z. B. ca. 45 Negative von der Größe 18:24 resp. 13:18 in diesen Schienen aufnehmen. Beide Fenster sind mit Platten, welche die normale und pathologische Röntgenanatomie in ihren hauptsächlichsten Repräsentanten umfassen, dauernd armiert, so daß es nicht nötig ist, wenn Vergleichsbilder gewünscht werden, diese erst hervorzusuchen. In einem Fenster eines Nebenraumes werden die sämtlichen innerhalb der letzten 24 Stunden gemachten Aufnahmen, soweit sie nicht in dringenden Fällen direkt auf die Station geschickt werden, für die Morgenvisite eingestellt. Die betreffenden Stationsärzte finden also Gelegenheit, bei guter durchfallender Beleuchtung und Abblendung allen überflüssigen Lichtes, die Platten ihrer Kranken zu studieren und eventuell mit normalen Bildern zu vergleichen. Die Verdunkelung geschieht durch große, lichtdichte, eiserne Doppelfenster, welche mit Leichtigkeit geschlossen werden können. Zwischen den Fenstern ist in einer in der Wand befindlichen Nische ein Tranzparenzkasten (Negativbühne) zur Betrachtung von Platten bei elektrischem Licht angebracht. Ein photographischer Apparat zur Herstellung von Diapositiven läßt sich an diese Negativbühne ohne weiteres ansetzen.

Schaufenster

Verdunkelungsvorrichtung



Fig. 127.

Im zweiten Untersuchungsraum hat der Induktor auf einem zwei Meter hohen Stativ, zwischen dessen Füßen sich der Tischrheostat befindet, seinen Platz gefunden. Auf einem Wandbord gegenüber dem Induktor sind Modelle von Quecksilbermotorunterbrechern, Turbinen, sowie ein Wehnelt zu Demonstrationszwecken aufgestellt. Eine Umschaltvorrichtung ermöglicht das Arbeiten außer mit dem, im Nebenraum für den täglichen Gebrauch befindlichen Wehnelt, mit jedem der genannten Unterbrecher. Rechts von dem Induktorstativ steht der für horizontale Orthoröntgenographie bestimmte Tisch. Die Tischplatte enthält am Kopfende einen Einsatz, welcher mit Segeltuch bespannt ist. Benutzt wird das von Reiniger, Gebbert & Schall in den Handel gebrachte Instrument nach Levy-Dorn. Der Schutz des Untersuchers wird durch eine am Kopfende befindliche, mit Blei benagelte, vertikale Holzplatte gewährleistet. Am Fußende ist eine zur Fixierung der Füße bestimmte, verschiebliche, senkrecht zur Tischplatte stehende Holzstütze angebracht. Die Kabelzuführung zu der unter dem Tisch befindlichen Röhre findet durch lange Hartgummistangen, deren eine am Fußende des Tisches, deren andere an der gegenüberliegenden Wand des Zimmers befestigt ist, statt. Die freie Zuführung der Kabel mußte in diesem Zimmer vollständig vermieden werden, weil sich gelegentlich der Röntgenkurse viele Ärzte im verdunkelten Zimmer aufhalten und eine Berührung der freien Leitungen außerordentlich leicht möglich ist. Um die Hartgummistange am Fußende zu schützen, ist ein Gitter am Tische vorgesehen worden. Ortho-röntgenograph

Gegenüber dem Induktorstativ befindet sich der Orthoröntgenograph für Untersuchungen bei vertikaler Stellung des Kranken. Dieser ist mit dem Moritzschen Stativ, welches die vertikale Stellung des Patienten garantiert, vereinigt. Das Moritzsche Stativ ist in der durch Francke verbesserten Ausführung im Kapitel „Orthoröntgenographie“ abgebildet. Die beiden oberen beweglichen Stützen dienen zur Fixierung der Schultern, die beiden unteren zur Fixierung des Beckens. Als Schutzvorrichtung für den Untersucher ist eine fahrbare Schutzwand zur Verwendung gekommen. Der Bleibeschlag der Außenwand derselben verhindert jede Bestrahlung des Untersuchers bis ungefähr zur Nabelhöhe. Der Schutz des Oberkörpers wird sowohl beim Horizontal- wie beim Vertikal-Orthoröntgenographen durch Schutzschürzen der Firma Traun-Hamburg gewährleistet. Die Leuchtschirme sind mit Bleiglas belegt. Schließlich sei erwähnt, daß die Untersucher bei allen Durchleuchtungen resp. orthoröntgenographischen Arbeiten Bleiglas-Brillen tragen. Moritz-Stativ

Über dem Induktorstativ befindet sich wiederum ein Hoch-

spannungsumschalter, welcher ein sofortiges Ausschalten vom Horizontal- auf den Vertikal-Orthoröntgenographen resp. auf das Trochoskop gestattet. Dieser gesamte Apparaten-Komplex ist so arrangiert, daß keiner der Apparate jemals von der Stelle bewegt zu werden braucht, wodurch der große Vorteil gewonnen ist, daß die Röhre stets zentriert in den beiden Orthoröntgenographen resp. im Trochoskop befestigt bleiben kann. Mithin ist die zeitraubende Einstellung der Apparate vermieden und eine schnelle und mühelose Vornahme orthodiagraphischer Arbeiten in vertikaler oder horizontaler Stellung der Patienten ermöglicht.

Besondere Schutzvorrichtungen wurden in diesem Raum nicht vorgesehen, da das hier aufgestellte Trochoskop (siehe unten) infolge Antixbekleidung der Röhrenkiste bereits den erforderlichen Schutz gewährt. Allerdings sind auch hier, wie bei allen Durchleuchtungen der aus dem Körper des Patienten herauskommenden Sekundärstrahlen wegen, Schutzschürzen erforderlich.

An der den Fenstern gegenüberliegenden Längswand des zweiten Untersuchungszimmers finden einige für therapeutische Bestrahlungen konstruierte Sitze Aufstellung, ferner ein Untersuchungstisch mit Vorrichtung zum Bestrahlen der Prostata oder des Uterus.

Neben dem soeben beschriebenen 2. Untersuchungszimmer befindet sich ein Raum, welcher hauptsächlich zum Zweck der Demonstrationen von Stereoskopbildern in natürlicher Größe und zur Vorführung von Projektionsbildern mittels des Projektionsapparat benutzt wird. Auch hier sind die Fenster dauernd mit interessanten Platten armiert.

Da seit Einführung der Bardenheuerschen Extensionsbehandlung der Frakturen ein Transport der Kranken in das Röntgeninstitut im Interesse der Heilung nicht angezeigt ist, habe ich einen transportablen Apparat, welcher Seite 289 näher beschrieben ist, konstruiert. Dieser Apparat kann in jedem beliebigen Pavillon direkt neben dem Bett eingeschaltet werden.

---

11. Kapitel.

Die Dunkelkammer und das photographische Verfahren.

Dunkelkammer

Von außerordentlicher Bedeutung für das gute Gelingen der röntgenographischen Untersuchungen ist die photographische Seite des Verfahrens. Ganz besondere Sorgfalt muß gerade diesen Ar-

beiten gewidmet werden, da vielfach an und für sich sehr gute Bilder infolge falscher photographischer Behandlung verdorben und dadurch unbrauchbar gemacht werden. Man sollte auf die Einrichtung der Dunkelkammer nicht weniger Sorgfalt verwenden, als auf die des Laboratoriums. Enge und schlecht zu lüftende kleine Räume erschweren das Arbeiten und machen es zu einem ungesunden und unerfreulichen Geschäft. Auch ist es namentlich bei Anwendung großer Plattenformate nicht möglich, dann mit der nötigen Sauberkeit zu verfahren, wenn man wegen Raumbeengung sich in seinen Bewegungen beschränken muß. Je größer das Dunkelzimmer und je vollkommener dasselbe mit allen Hilfsmitteln der photographischen Technik ausgestattet ist, um so angenehmer wird die Arbeit in demselben sein und um so bessere Resultate werden sich erzielen lassen. Es ist für den Arzt eine unter Umständen kaum zu leistende Anforderung, wenn er neben seiner anderen Tätigkeit auch noch die Entwicklung der Platten persönlich vornehmen und sich stundenlang im Dunkelzimmer aufhalten muß. Wenn irgend möglich, sollte in jedem Laboratorium ein gut geschulter Gehilfe zur Verfügung stehen, welcher die Bearbeitung der fertigen Aufnahme, so weit das photographische Verfahren in Betracht kommt, übernimmt. Je gründlicher ein solcher Gehilfe ausgebildet ist, um so besser werden auch die Bilder ausfallen. Am günstigsten ist es natürlich, wenn derjenige, welchem die Entwicklung übertragen wird, ein gelernter Fachphotograph ist. In diesem Falle findet der Arzt eine außerordentliche Unterstützung bei seinen Untersuchungen und kann sich dem angenehmen Gefühl hingeben, daß nichts verdorben werden kann, daß sogar aus nicht vollständig richtig belichteten Platten durch photographische Kunst das möglichste gemacht werden wird. Es liegt mir fern in diesem Buche die Entwicklung der Platten vom Standpunkte des Fachphotographen zu besprechen. Wer sich für diese Sache interessiert, mag in einem der vielen vorzüglichen photographischen Lehrbücher über die verschiedenen Verfahren, welche bei der Entwicklung in Betracht kommen, nachlesen. Für ein Lehrbuch der Röntgentechnik handelt es sich vielmehr darum eine erprobte Methode anzugeben, welche für den Anfänger und für den Fortgeschrittenen bei allen in der Praxis vorkommenden Aufgaben vollständig ausreicht, und welche gleichzeitig derart ausgebildet ist, daß sie die besten Resultate gibt.

Photographisches Verfahren

Was zunächst das Entwicklungszimmer angeht, so soll, wie schon erwähnt, dasselbe je nach dem vorhandenen Raum möglichst groß gewählt werden. Es ist wünschenswert, daß es nicht allzu dicht beim Röntgenuntersuchungszimmer liegt, da selbst durch die

Wände und durch die Türen Strahlen dringen, welche unbeabsichtigte Wirkungen auf die Platten ausüben. Läßt sich diese Lage infolge der gegebenen Verhältnisse nicht umgehen, so müssen die Wände und Türen durch $^1/_2$ mm dicke Bleiplatten in etwa 2 m Höhe gegen etwaige Durchstrahlungen gesichert werden. Bringt man das Dunkelzimmer in den Kellerräumen unter, so hat man mit Feuchtigkeit der Luft zu rechnen. Man darf infolgedessen die unbelichteten Reserveplatten, welche aufzubewahren sind, nicht in diesem Raum lagern. Das Dunkelzimmer kann einen weißen Wandanstrich erhalten, da man alsdann mehr Licht im Zimmer hat. Ist die rote Lampe nicht zuverlässig, was genau zu kontrollieren ist, dann nützt auch ein dunkler Wandanstrich nichts.

Das Entwicklungszimmer muß ausreichend mit Wasserleitung versehen sein, welche am besten so anzubringen ist, daß ein großer mit Zink ausgeschlagener Spültisch, der direkten Anschluß für Zu- und Abfluß hat, mit zwei oder drei Hähnen versehen wird, deren einer eine Brause, deren anderer einen längeren Schlauch trägt. Die Brause, welche zum Abspülen der Platten dient, darf keinen scharfen Strahl haben, sondern muß mit so großen Löchern versehen sein, daß jeder der einzelnen Strahlen weich und nicht mit zu großer Gewalt auf die da-runtergehaltenen Platten trifft. Eine harte Brause kann die Schicht leicht verderben. Der Schlauch wiederum dient dazu, das Wasser in einer großen Schale, die zum Spülen bestimmt und in den Spültisch hineinzusetzen ist, stetig zu erneuern, wobei besonders darauf zu achten ist, daß dieses nur unter geringem Druck geschieht. Das Quantum Wasser, das in die Schalen läuft, braucht kein großes zu sein, mit geringen Mengen läßt sich ein vollständig gutes Auswässern der Platten erzielen. Die Hauptsache ist, daß ein steter Zu- und Abfluß vorhanden ist. Der Wässerungskasten wird zweckmäßig aus einem Blechbottich, 60 cbm groß und 10 cm tief, in dessen Boden sich ein kleines Loch befindet, hergestellt. Da die Fixiernatronlösung schwerer ist als das Wasser, so sammelt sie sich am Boden des Gefäßes und wird durch das Loch abgeführt.

Wässerung der Platten

Neben dem Spültisch findet eine große Schale vom Formate 40×50 Aufstellung, in welcher das Natronfixierbad (1 : 4) angesetzt wird. Dieses besteht aus unterschwefligsaurem Natron (Natrium subsulfuros. purissimum). Das Natron wird am besten in Substanz angeschafft und in luftdicht verschlossenen Glasgefäßen aufbewahrt. Ist es zu alt oder kommt Feuchtigkeit an dasselbe heran, so zersetzt es sich und wirkt schädigend auf die Platte. Dem Natronbad wird auf 1 Liter 50 ccm Sulfitlauge, um das Bad anzusäuern, zugefügt. Setzt man keine Sulfitlauge hinzu, so hält sich das Fixierbad nur kurze Zeit und wird sehr bald bei dem zu schildern-

den Entwicklungsverfahren braun. Von Zeit zu Zeit ist es zu erneuern, da seine Wirkung immer geringer wird, was namentlich dann sehr ungünstig sein kann, wenn die Platten später verstärkt werden sollen. Bei reichlicher Benutzung empfiehlt es sich, das Bad täglich frisch anzusetzen.

Das Entwickeln kann vom Gehilfen oder vom Arzt selber besorgt werden. Da indessen das Hin- und Herschaukeln der Platten mit der Hand zeitraubend und langweilig ist, so empfiehlt es sich zur Abkürzung der Mühe einen Tisch zu benutzen, der durch einen Mechanismus angetrieben, selbständig die Schaukelbewegungen mit den auf ihm stehenden Schalen vornimmt. Den von Gocht für elektrischen Antrieb mittels Akkumulatoren konstruierten Tisch habe ich für Starkstrom umarbeiten lassen.

Es ist bei der Konstruktion dieses Tisches besonders darauf zu achten, daß der Motor gegen etwa überlaufende oder verspritzte Flüssigkeiten gedeckt steht. Die Feuchtigkeit verdirbt ihn schnell, auch ist Erdschluß zu befürchten.

Der $^1/_8$ Pferdekraft besitzende Motor (*b*) befindet sich, wie Fig. 128 zeigt, um vor etwa überlaufender Entwicklerflüssigkeit gesichert zu sein, in einem Holzkasten. Das überstehende Dach des letzteren ruht ausbalanziert auf einer Schneide. Der Motor setzt eine Schnecke *c* in Bewegung, welche mittels eines Exzenters die Tischplatte auf und nieder bewegt. Als Anlasser dient der Hebel *a*.

Setzt man nun eine Schale mit Entwicklungsflüssigkeit auf diesen Tisch und läßt den Motor angehen, so wird man bemerken, daß die Flüssigkeit mit einer Regelmäßigkeit und Genauigkeit von einer Seite zur anderen schaukelt, wie es mit der Hand kaum zu erzielen ist. Um die Platten möglichst gleichmäßig zu bespülen, setzt man die Schale zweckmäßig so hin, daß sie um ihre Diagonale schaukelt. Ein solcher Tisch erspart eine Menschenkraft.

Ist kein elektrischer Strom im Dunkelzimmer vorhanden, so kann man sich mit anderem Antrieb helfen. Es sind Pendelvorrichtungen beschrieben worden und Tische, welche durch allmählich sich senkende große Gewichte bewegt werden. Sehr zweckmäßig ist der von Biesalski beschriebene Tisch mit Wasserleitungsantrieb. Hat man dagegen elektrischen Strom, so ersetzt derselbe auf das vollkommenste jeden anderen Antrieb. Auch spielt der Kostenpunkt keine Rolle, da der Stromverbrauch, wenn Kraftstrom benutzt wird, außerordentlich gering ist. Über dem Entwicklungstisch muß eine rote, mit Mattglas versehene Laterne so angebracht werden, daß man bequem die Platte vor dieselbe halten kann, um das Bild in der Durchsicht zu studieren. Die Schalen wählt man am besten aus Steingut, Glas ist zu zer-

brechlich, Papiermaché wird leicht undicht. Man mache sich zur Regel, diejenigen Schalen, welche man zur Entwicklung benutzt, niemals zu irgendwelchen anderen Dingen, wie zum Fixieren oder Verstärken, zu verwenden. Ebenso soll

Entwicklungs-tisch mit Motorantrieb

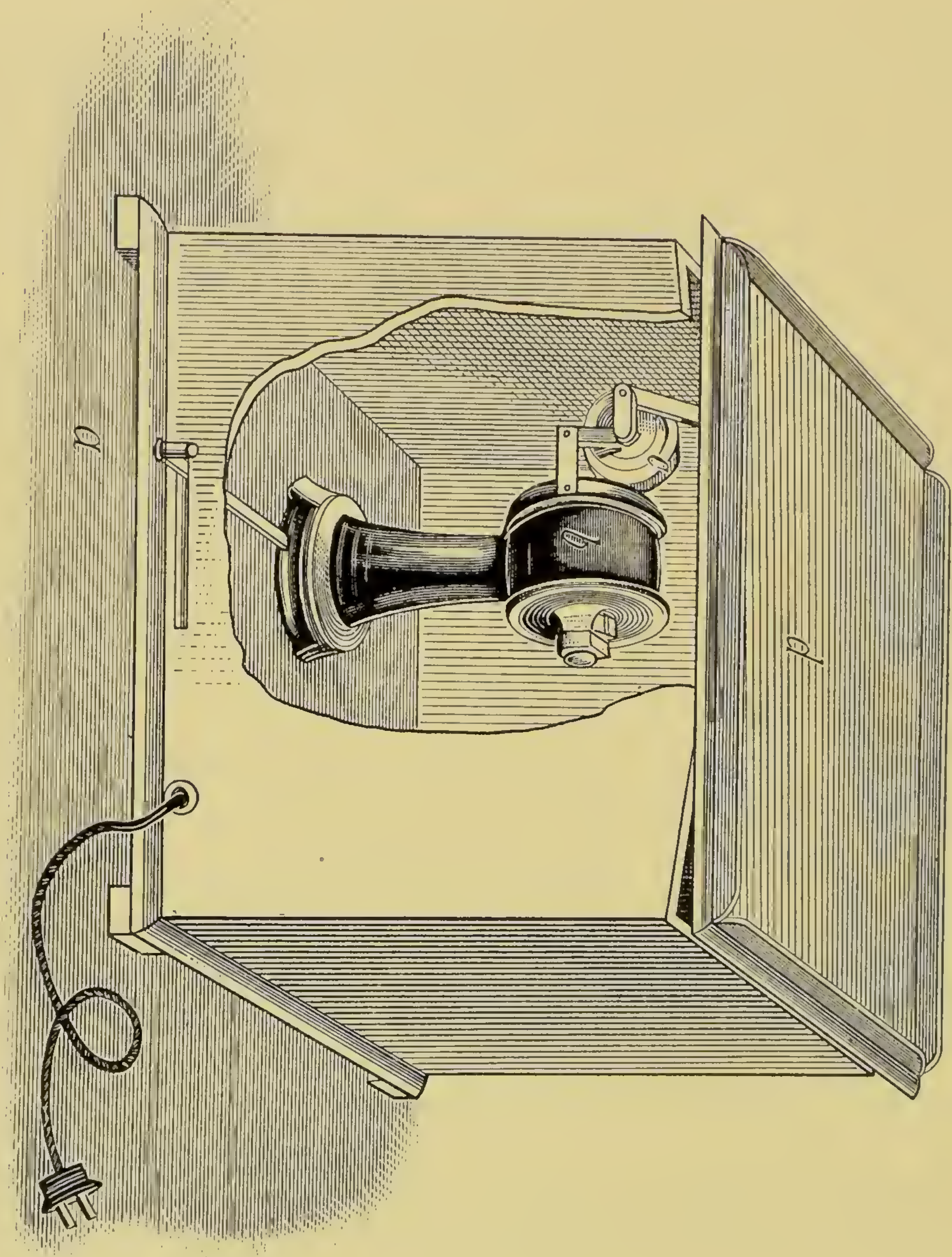


Fig. 128.

die Natron- und die später zu beschreibende Quecksilberschale nur ihrem Zweck und niemals anderen Bedürfnissen dienen. Die peni-belste Sauberkeit ist bei dem ganzen photographischen Prozeß so-wohl, wie bei dem Instandhalten und Reinigen der Schalen uner-läßlich. Schließlich stelle man im Entwicklungszimmer eine Schale mit Alaunlösung zum Härten der Schicht auf.

Die Verstärkungsarbeiten mit Quecksilber dürfen, wenn es sich irgendwie räumlich einrichten läßt, nicht im Entwicklungszimmer vor sich gehen, da das Sublimat außerordentlich verderblich für die Platten werden kann.

Kassetten

Es empfiehlt sich, die Platten für die Aufnahmen in Kassetten einzulegen. Es hat dieses, gegenüber der Einwicklung in Papier, den Vorteil, daß ein Bruch nicht so leicht zu befürchten ist. Die sogenannten „Einzelpackungen" haben sich nicht bewährt. Durch Benutzung von Kassetten sind die Platten vor Druck und Reibung geschützt, gegen die die Gelatineschicht äußerst empfindlich ist. In Fig. 129 ist eine Kassette abgebildet, welche bei großer Billigkeit den Vorzug hat, sehr haltbar zu sein. Vor allem wird durch die Art der Lagerung der Platte einem Zerbrechen derselben durch schwere Patienten vorgebeugt. „Werfen" der Kassette,

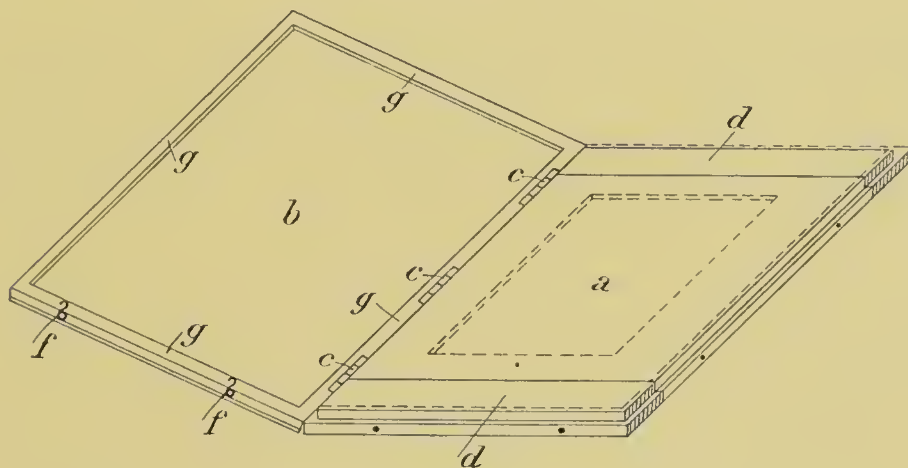


Fig. 129.

sowie Lichtundichtwerden ist bis jetzt im Gebrauch nicht vorgekommen. Die Kassette ist so eingerichtet, daß sie keine hindernden Vorsprünge besitzt, sondern im geschlossenen Zustande einen nur von ebenen Flächen begrenzten, wie ein glattes Brett erscheinenden Körper darstellt. Diese völlige Ebenheit ist namentlich dann vorteilhaft, wenn die Kassette dem Körper im liegenden Zustande untergeschoben, bzw. untergelegt werden soll. Sie besteht aus zwei buchartig zusammenklappbaren Teilen (*a* und *b*), die durch die Scharniere (*c*) miteinander verbunden sind. Den einen Teil (*a*) bildet eine massive Holzplatte von etwa $10^1/_2$ mm Stärke, am besten aus Nußbaumholz, deren innere Fläche ringsum stufenartig abgesetzt ist, so daß dieselbe einen vorspringenden Teil bildet. Diese Holzplatte, auf welcher die photographische Platte liegt, ist mit einer $^1/_2$ mm dicken Bleiplatte bedeckt. Die Bleibelegung, welche von Walter schon vor Jahren empfohlen wurde,

hat den Zweck, die vom hölzernen Boden der Kassette ausgehenden Sekundärstrahlen, welche die Platte von unten her verschleiern können, unschädlich zu machen. Um einem Werfen des Holzes (*a*) vorzubeugen, sind die Schmalseiten durch Randleisten (*d*) gebildet. Der andere Teil (*b*) besteht aus einem Holzrahmen (*g*), auf welchem außen eine schwarze Papptafel befestigt ist. Die Tiefe des Rahmes (*g*) entspricht der Höhe des vorspringenden Teils der Platte (*a*), einschließlich der daraufliegenden Glasplatte, so daß bei geschlossener Kassette der Rahmen (*g*) völlig den stufenförmig gestalteten Rand der Platte (*a*), ausfüllt. Die Kassette wird durch Klammern (*f*) geschlossen gehalten, von denen je zwei an jeder Seite des Rahmens (*g*) befestigt sind. Sie ist im allgemeinen für Platten bestimmt, die gerade so groß sind, wie die innere lichte Weite des Rahmens (*g*). Um auch kleinere Formate benutzen zu können, legt man auf den vorspringenden inneren Teil von *a* eine geschwärzte Pappeinlage, die genau so groß wie ihre Auflagefläche und so dick wie die lichtempfindliche Platte ist. Letztere liegt wie in der Zeichnung punktiert angegeben ist, in einem entsprechenden Ausschnitt der Pappeinlage. Die Kassette ist auch für kleine Formate konstruiert, so daß man auf das Einlegen von Papprahmen eventuell verzichten kann[1]).

Es ist ratsam, den Pappdeckel, der mit Platten armierten Kassetten, namentlich im Winter, leicht anzuwärmen, indem man die Kassette über den Gasofen hält oder gegen einen Kachelofen lehnt. Hierdurch wird dem Patienten das unangenehme Kältegefühl beim Unterlegen der Platten erspart. Außerdem bringt man durch Erwärmung etwaige, im Karton enthaltene Feuchtigkeit, die zur Verklebung des Papieres mit der sehr hygroskopischen Gelatine führen kann, fort. Feuchte Stellen können sich nachher auf der Platte als helle Flecken markieren und dadurch zu Fehldiagnosen Anlaß geben.

Die Benutzung von Kassetten empfiehlt sich auch ganz besonders deswegen, weil die Feuchtigkeit des Körpers nicht an die Platte herankommen kann, was sehr wohl möglich ist, wenn man sie, nur in schwarzes Papier eingewickelt, zur Aufnahme benutzt.

Als Entwickler möchte ich in erster Linie das Glyzin empfehlen. Dieses gibt außerordentlich gute Resultate und ist billig. Es ist nicht zu leugnen, daß man auch mit anderen Entwicklern recht gute Ergebnisse erzielen kann, indessen hat das Glyzin manche vortreffliche Eigenschaften, die den übrigen ab-

---

[1]) Zu beziehen von Schütze & Noack, Passage Scholvien, Hamburg.

gehen. Vor allen Dingen ist es deswegen einer der besten Entwickler, weil man bei Röntgenplatten fast stets über die Richtigkeit der Expositionszeit im unklaren ist. Diesen Fehler der Belichtung korrigiert der genannte Entwickler am sichersten, indem er alle Details, die überhaupt vorhanden sind, aus der Platte herausholt, und nach von Hübel, dessen Ansicht ich mich anschließe, selbst vielfache Überexpositionen korrigiert. Man hat infolgedessen nicht nötig, die Platte während der Entwickelung im durchfallenden Licht zu betrachten, um zu konstatieren, wie weit der Prozeß vorgeschritten ist, sondern man kann sie unbesorgt so lange in der Lösung liegen lassen, bis, nach der Zeit gerechnet, die Entwicklung ungefähr abgeschlossen sein muß. Somit braucht man sich nur ein- oder zweimal gegen Schluß über ihren Fortschritt zu vergewissern. Außerdem hat das Glyzin den großen Vorzug, daß die Negative äußerst klar und sauber ausfallen. Die Platten, welche von der Rückseite grauschwarz erscheinen, sind stets schön durchgearbeitet, da Überentwicklung ausgeschlossen ist, es sei denn, daß man ganz grobe Fehler in der Entwicklungszeit macht. Im allgemeinen hat man selten über verschleierte Platten zu klagen. Erst bei wesentlich überentwickelten Platten pflegt ein leichter Gelbschleier aufzutreten, welcher indessen, wenn er nicht allzu hochgradig ist, später wieder durch Abreiben mit Watte oder durch Verstärkung, ferner durch Einlegen in ein altes Tonfixierbad (Goldbad), welches den Platten einen schönen Glanz verleiht, beseitigt werden kann. Die Hände werden durch das Glyzin fast gar nicht angegriffen. Seine Haltbarkeit ist außerordentlich groß, so daß man sehr sparsam arbeiten kann. Durch Zusatz von frischem Entwickler zu altem kann man die Wirkungskraft des letzteren lange Zeit aufrecht erhalten. Allerdings wird die Schnelligkeit der Entwicklung mit zunehmendem Alter der Lösung wesentlich herabgesetzt.

Glycinentwickler

Schleierbildung

Man kann nun, je nachdem man den Entwickler im konzentrierten oder verdünnten Zustande benutzt, schneller oder langsamer verfahren. Bei sehr konzentrierten Lösungen ist das Bild in wenigen Minuten vollständig fertig, bei weniger konzentrierten wird man längere Zeit, etwa 10—20 Minuten, bedürfen. Es ist zu empfehlen, mit etwas verdünnter Lösung langsam zu entwickeln, da die Platten schöner durchgearbeitet sind und mehr Details enthalten, als dieses bei den schnellen Entwicklungen der Fall zu sein pflegt. Die sogenannte Rapidentwicklung ist für Röntgenplatten deswegen ungeeignet, weil wir über die Richtigkeit der Exposition nicht so genau orientiert sind, daß wir innerhalb der kurzen Zeit der Entwicklung den rechten Dichtegrad treffen. Kommt es in

eiligen Fällen mehr auf die Schnelligkeit der Entwickelung als auf die Güte des Bildes an, z. B. beim Suchen eines Projektils, dann kann folgender Entwickler gute Dienste tun:

Rapid-entwicklung

Lösung A.

250 cc Wasser, dest.
25 g Natriumsulfit ($Na_2SO_3 + 7 H_2O$)
5 g Brenzkatechin.

Lösung B.

50 cc dest. Wasser
47 g gewöhnliches krist. Natriumphosphat
5 g Ätznatron (in Stangen gereinigt).

Die Substanzen müssen nach der angegebenen Reihenfolge gelöst werden.
Zum jedesmaligen Gebrauche wird 1 Teil A mit 1 Teil B und 1 Teil Wasser gemischt, also

100 cc Lösung A
100 cc „ B
100 cc Wasser

Dauer der Entwicklung ca. 1—2 Minuten.

Im allgemeinen verzichte man auf das Rapidverfahren und entwickle im Interesse der Güte der Platten lieber länger. Beifolgend gebe ich ein Rezept (nach Pizzigelli),

Lösung I.

Glyzin	30,00
Natrium sulfit	100,0
Natrium oder Kaliumkarbonat	20,0
Aq. dest.	1000

Lösung II.

Natrium oder Kaliumkarbonat	100,0
Aq. dest.	1000,0

Preis beider Lösungen: 3,30 M.

welches sich für alle Zwecke der Praxis dauernd bewährt hat. Man läßt dasselbe beim Apotheker oder Drogisten, jede Lösung in einer besonderen Flasche für sich, herstellen. Beide Lösungen werden dann zu gleichen Teilen in einer Schale zusammengegossen und gut gemischt. Eine hierin entwickelte Platte wird in ungefähr 10 bis 15 Minuten vollständig fertig sein.

Ist die Lösung älter, so wird sich die Entwicklung entsprechend verzögern.

Aus ökonomischen Rücksichten kann es sich empfehlen, die konzentrierte Glyzinlösung selbst herzustellen. Man verfährt dabei folgendermaßen:

25 g wasserfreies Natriumsulfit (siccum) werden in 80 ccm Wasser warm gelöst. Hierauf werden 10 g Glyzin zugesetzt und die Lösung bis zum Kochen erhitzt. Mit Vorsicht und allmählich

werden nun 50 g Pottasche hinzugefügt. Von der so gewonnenen Glyzinlösung, welche im Dunkeln aufzubewahren ist, stellt man das oben angegebene Rezept her. Je älter die allmählich dunkelbraun werdende konzentrierte Lösung ist, desto schönere Resultate wird man mit ihr erreichen.

Der Entwicklungsprozeß ist beendet, wenn die Platte soweit durchentwickelt ist, daß sie auf der Durchsicht nur noch andeutungsweise Details erkennen läßt und auf der Rückseite bereits die Knochenteile alle erschienen sind. Das Negativ wird gründlich abgespült und kommt in das bereitstehende saure Fixierbad. Sol. Natr. subsulfuros 1 : 4, dem zweckmäßig bis zur deutlich sauren Reaktion saure Sulfitlauge zugesetzt wird. Sulfitlauge (saure)

Aqua dest. . . .	5000,0	ccm
Na. sulfuros . . .	500,0	„
Acid. sulfuric. conc.	60,0	„

Die Beurteilung, wann die Entwicklung beendigt ist, ist bei Knochenaufnahmen leicht, dagegen bei Nierensteinaufnahmen schwer, da bei letzteren im durchfallenden roten Lichte nur wenige Knochenteile, wie die Wirbel, Rippen und besonders die Proc. transversi der Wirbelsäule erkennbar sind. Auch hier richtet man sich darnach, ob die Platte von der Rückseite bereits den dunklen Belichtungskreis zeigt, resp. ob sie in der Durchsicht einen gedeckten Eindruck macht. Ist die Entwicklung vollendet, so hat man die Fixierung so lange vorzunehmen, bis die Platte von der Rückseite vollständig schwarz erscheint. Man lasse aber aus Vorsicht das Negativ dann noch einige Minuten länger im Fixierbad liegen, damit auch die tiefsten Schichten der Gelatine vollständig und gründlich vom Fixiernatron durchdrungen werden Die nicht genügend durchfixierte Platte erhält auch dann, wenn sie von der Rückseite vollständig schwarz erscheint, bei etwaiger Verstärkung mit Sublimat sehr leicht gelbe Schwefelsilberflecken, welche nicht zu beseitigen sind und die Platte vollkommen unbrauchbar machen.

Im allgemeinen ist anzuraten, nicht unter einer Viertelstunde zu fixieren.

Nach vollendeter Fixage kommt die Platte entweder sofort in die Spülung, oder sie erhält nach oberflächlichem Abbrausen ein Bad in der Alaunlösung von der Dauer von 5—10 Minuten. Dieses Alaunbad hat den Zweck die Schicht zu härten, was namentlich im Sommer, wenn das Wasser warm ist, angebracht ist und ihre leichte Verletzbarkeit herabsetzt. Das Auswässern der fixierten Platte muß sehr gründlich im fließenden Wasser, etwa eine Stunde lang, geschehen. Kürzer wird die Platte ausgewässert, wenn eine Verstärkung nicht erforderlich erscheint. Soll letztere

dagegen vorgenommen werden, so muß die Auswässerung ausgiebig sein, da Spuren von Fixiernatron, welche sich noch in der Schicht befinden, in Verbindung mit Sublimatlösung gelbe Schwefelquecksilberflecken bedingen, die ebenso verderblich für die Platte sind, wie die erwähnten Schwefelsilberflecken.[1]) Die fertig ausgewaschene Platte wird auf einen Trockenständer aufrecht hingestellt. Das Trocknen muß in einem Raum vor sich gehen, in welchem keine Feuchtigkeit der Luft enthalten ist und an Plätzen, welche nicht den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind. Bisweilen entstehen bei ganz klaren, gut entwickelten und gut fixierten Platten, welche man als vollständig gelungen betrachten kann, im Auftrocknen eigentümliche schwarze Flecke, die sich kometenschweifartig ausdehnen und sämtlich parallel stehen. Das Zentrum des Fleckes ist tiefschwarz oder glasklar. Betrachtet man eine solche Platte von der Seite oder legt sie unter das Mikroskop, so erkennt man, daß die Schicht entsprechend dem Fleck und dem kometenartigen Schweif vertieft ist. Solche Flecke entstehen wahrscheinlich während des Trocknens durch Schmelzungsvorgänge in der Schicht. Die belichtete Gelatine schmilzt oberflächlich und rinnt senkrecht herunter, infolgedessen die sämtlichen Flecke parallel stehen. Die Gründe für diese Schmelzungsvorgänge sind bis jetzt noch nicht festgestellt, sie treten besonders dann ein, wenn die Platten sehr lange gewässert haben oder in feuchter Luft auftrocknen. Als Abhilfemittel wird ein Härten der Schicht nach dem Auswässern in 10% Formalinlösung empfohlen (Guttmann).[2])

Plattenfehler

Plattenkritik

Die fertig getrocknete Platte wird nun gegen Mattglas geprüft, um festzustellen, ob die richtige Exposition oder Überexposition resp. Unterexposition vorliegt.

Bei einer richtig exponierten Platte erscheint die Knochenstruktur scharf und leuchtend, auch die Weichteile sind gut zu differenzieren. Der belichtete Teil, auf welchem bei der Aufnahme kein Körperteil gelegen hatte, ist gleichmäßig tiefschwarz und undurchsichtig.

Eine unterexponierte Platte dagegen zeigt auffallend deutliche Weichteilzeichnung und schwach ausgebildete Knochenstruktur.

[1]) Angesäuerte Alaunlösung soll nach Versuchen von Chapman Jones zur Behebung der letzten Spuren von Fixiernatron aus Negativen ebenso wirksam sein, wie irgend eines der gerühmten „Eliminatoren", wie Jodsalze, Persulfate, Wasserstoffsuperoxyd usw. Nur müsse man sich darauf beschränken, wirklich nur die letzten Spuren von Natron auf diese Weise austreiben zu wollen. Die Negative müssen also zuvor tüchtig gewaschen werden.

[2]) Die Zahl der Plattenfehler ist groß. Näheres findet man in den Lehrbüchern der Photographie.

Man erkennt wohl die letztere, sie ist indessen nicht tief genug ausgeprägt, so daß man nicht mit Sicherheit irgendwelche geringfügigen Abweichungen vom Normalen würde feststellen können. Die belichteten freien Teile der Platte sind nicht tiefschwarz sondern nur hellgrau.

Eine überexponierte Platte ist durchweg grau. Zwischen Weichteilen und Knochen ist in der Schattentiefe, kein wesentlicher Unterschied, ebenso ist der freie Plattenteil nicht tiefschwarz sondern trübe und grau. Ist die Überexposition eine hochgradige, so erkennt man von den Knochen überhaupt nichts mehr, da alles ziemlich gleichmäßig geschwärzt ist. Nur beim Vorhalten vor abgeblendetes Licht werden die Unterschiede zwischen den Knochen, den Weichteilen und den freien Partien der belichteten Platte deutlicher. Die Überexposition ist der Fehler, welcher bei der Röntgenaufnahme am häufigsten gemacht wird. Sie kommt zustande, wenn man entweder mit einer richtigen Röhre zu lange exponiert oder mit einer zu harten Röhre arbeitet. In beiden Fällen wird die Platte unbrauchbar. Im ersteren, wenn mit einer richtigen Röhre zu lange exponiert worden ist, erscheint die Knochenstruktur zwar deutlich, aber die ganze Platte ist dermaßen stark gedeckt, daß man nur gegen konzentriertes Licht etwas erkennen kann. Hält man das Negativ aber gegen diffuses Licht, so sieht man nur in einigen wenigen Teilen Knochenzeichnung. Wurde eine zu harte Röhre genommen, so erscheint das Bild gleichmäßig grau, matt und verschleiert. Es ist wohl Knochenstruktur zu sehen, aber sie hebt sich nicht ordentlich heraus, und das Bild macht einen monotonen, grauen Eindruck. Wir haben also, um das Gesagte zusammenzufassen, folgende drei Bildqualitäten:

1. das, mit der richtigen Röhre richtig exponierte Bild, Bildqualitäten

2. das unterexponierte Bild, d. h. das Bild, welches zwar mit einer richtigen Röhre gemacht wurde, dessen Expositionszeit aber zu kurz war,

3. das überexponierte Bild, d. h. das Bild, welches zwar mit einer richtigen Röhre gemacht, aber zu lange belichtet wurde,

4. das verschleierte Bild, d. h. das Bild, welches zwar die richtige Zeit belichtet, aber mit einer für den darzustellenden Gegenstand zu harten Röhre gemacht wurde.

Während die Überexposition also ein Fehler der Belichtungsdauer ist, ist die Verschleierung eine durch die Sekundärstrahlen einer zu harten Röhre bedingte Erscheinung, also ein Fehler in der Röhrenauswahl.

1. Die richtig belichtete Platte kann ohne weiteres als fertig gestellt betrachtet werden, will man sie indessen noch verschönern, so empfiehlt es sich, eine sehr schwache Verstärkung vorzunehmen. Wie dieses gemacht wird, werden wir weiter unten sehen. Eine solche schwache Verstärkung erhöht die Wirkung außerordentlich, da das Bild etwas Brillantes und Geklärtes erhält. Man hüte sich indessen die Verstärkung zu weit zu treiben.

2. Die unterexponierte Platte bedarf einer sehr energischen Behandlung. War die Unterexposition keine allzu bedeutende, so läßt sich durch Verstärkung die unterbelichtete Platte zu einer scheinbar richtig exponierten machen. War sie dagegen zu erheblich, so nützt auch die Verstärkung in solchem Falle nichts mehr.

3. Die überexponierte Platte, welche durch zu langes Belichten mit der richtigen Röhre entstanden ist, kann dadurch verbessert werden, daß sie in der später zu schildernden Weise abgeschwächt wird. Man ist imstande, die Platte unter Umständen zu einer normalen, d. h. einer scheinbar richtig belichteten, zu machen.

4. Die verschleierte Platte ist überhaupt nicht zu verbessern und kann ohne weiteres als unbrauchbar ausgeschieden werden.

Es kommen dann noch Fehler vor, welche auf falscher Entwicklung beruhen, d. h. die Platten wurden nicht lange genug im Entwickler gelassen. Es ist dieses ein Versehen, das eigentlich nicht vorkommen darf, da man sich jederzeit davon überzeugen kann, ob der Entwickler genügend eingewirkt hat. Sollte indessen der Fehler gelegentlich gemacht sein, so verstärke man solche Platten stark, wodurch man ein relativ gutes und klares Bild erhält. Die beiden Korrekturmethoden für Unter- und Überexposition sollen im folgenden besprochen werden.

Die Quecksilberverstärkung.

Verstärkung

Die wirksamste Verstärkung für Röntgenplatten besteht in der Quecksilber-Sublimatverstärkung. Man bezieht das Sublimat am besten kiloweise vom Drogisten und setzt sich selber die Lösung in einer Porzellanschale an. Zu dem Zweck werden 150 Gramm fein pulverisiertes Sublimatpulver in 1 Liter warmen Wasser unter sorgfältigem Rühren gelöst. Da die hierbei sich entwickelnden Dämpfe unter Umständen gesundheitsschädlich wirken können, empfiehlt es sich, die Zubereitung entweder vor geöffneten Fenstern oder im Abzug vorzunehmen. Die Lösung muß möglichst konzentriert sein. Es hat wenig Zweck, in schwachen Lösungen vorzuverstärken und zum Schluß eine Stärkere zu nehmen, da keine wesentlichen Unterschiede in der Güte der Bilder dadurch bewirkt

werden. Die Sublimatlösung wird, nachdem sie vollständig abgekühlt ist, in einer Glasflasche mit Glasstöpsel sorgfältig verwahrt. Zum Schwärzen der Platten verwendet man am besten $10^0/_0$ Ammoniaklösung, die man sich ebenfalls der Billigkeit wegen selber herstellt. Auch diese Flüssigkeit muß in einer gut verschlossenen Flasche aufbewahrt werden.

Wenn es möglich ist, empfiehlt es sich, die Verstärkungsarbeiten in einem vom Entwicklungsraum getrennten Zimmer vorzunehmen, da man auf diese Weise am sichersten eine Übertragung von Natron vermeiden kann. Ein solches Verstärkungszimmer muß, um die verstärkten Platten gründlich an Ort und Stelle auswässern zu können, mit Wasserleitung versehen sein. Man richtet die Verstärkungseinrichtung am besten so ein, daß auf einem $1^1/_2$ m langen Tisch zwei Schalen nebeneinander aufgestellt werden, in welchen die Sublimat und die Ammoniaklösung sich befinden. Rechts und links vom Tisch wird ein Behälter angebracht, welcher aus Blech gearbeitet und mit Wasserleitung, Zu- und Abfluß versehen ist. In diesen Blechbehälter stellt man Steingutschalen, in die das Wasser hineinläuft. Man läßt diese stets an Ort und Stelle stehen, da sie zu anderen photographischen Zwecken wegen des Eindringens von Sublimat in die Poren[1]) nicht mehr zu gebrauchen sind. Wenn man über ein Verstärkungszimmer verfügt, so kann man die Quecksilberlösung in der zur Verstärkung bestimmten Schale dauernd stehen lassen und braucht sie nicht in die Flasche zurückzufüllen. Es ist dann besser, die Schale mit einem Deckel zuzudecken. In diesem Falle hat man nicht zu befürchten, beim Zurückgießen in die Flasche Sublimatlösung zu verschütten. Selbstverständlich darf das Verstärkungszimmer anderen Personen nicht zugänglich sein, da die Gefahr, welche die starken Lösungen mit sich bringen, für den Unkundigen groß ist und daher eventuell zu Entschädigungsansprüchen gegen den Besitzer des Laboratoriums Veranlassung gegeben werden könnte. Man hänge, um sich gegen Unannehmlichkeiten zu schützen, an der Wand des Verstärkungsraumes ein Plakat folgenden Inhaltes auf:

Vorschriften für die Benutzung von Sublimatlösungen.

Sublimatlösungen und ihre Behandlung

1. Die Sublimatlösungen sind äußerst giftig. Es ist daher die größte Vorsicht und Reinlichkeit bei der Arbeit mit diesen Lösungen geboten.
2. Die Lösung ist vorsichtig umzugießen. Es ist zu vermeiden, daß von der Flüssigkeit etwas auf den Boden oder auf den Tisch verspritzt wird,

[1]) Schalen, welche Sublimatlösungen enthalten haben, zeigen schwarze, nicht abwaschbare Kreise mit einem punktförmigen Zentrum.

da durch Verdunsten der Lösung die Atmungsorgane usw. geschädigt werden.

3. Ist Lösung verspritzt, so muß diese mit feuchter Watte oder Zeug aufgewischt werden. Die Watte oder das Zeug ist zu vernichten event. ist mit Seifenwasser (Grüne Seife) das verspritzte Sublimat zu begießen.
4. Es ist darauf zu achten, daß beim Zurückgießen der Sublimatlösung in die Flasche der Flaschenhals nicht von außen benetzt wird, da sich sonst giftige Quecksilbersalze infolge der Verdunstung am Flaschenhalse ansetzen.
5. Es soll stets derselbe Trichter beim Zurückgießen der Lösung benutzt werden. Derselbe darf zu keinem anderen Zwecke Verwendung finden.
6. Die Sublimatflaschen sind mit einer *Giftetikette* zu versehen und müssen die Bezeichnung ihres Inhaltes *weiß auf schwarzem Grunde* tragen. Die gleiche Giftetikette oder gleichlautende Aufschrift ist am Trichter anzubringen.
7. Sind die Hände mit der Sublimatlösung in Berührung gekommen, so müssen diese sofort in fließendem Wasser gereinigt werden.
8. Die Sublimatflaschen dürfen nicht aus dem Verstärkungs- oder Entwicklungszimmer entfernt werden.
9. Die Sublimatverstärkung darf nur im Verstärkungs- oder Entwicklungszimmer vorgenommen werden.
10. Die zur Verstärkung mit Sublimat benutzten Schalen dürfen keinem anderen Zweck dienen. Die Schalen müssen nach dem Gebrauch in fließendem Wasser gereinigt werden.

Behandlung der Sublimatvergiftung.

Milch und Eiweißlösungen sind in großen Mengen einzuführen und das Erbrechen durch Reizung des Gaumens zu unterstützen. Alsdann ist so bald als möglich der Magen mit Wasser, dem gebrannte Magnesia hinzugefügt werden kann, auszuspülen.

Innerliche Mittel: Gebrannte Magnesia, Holzkohle, Eisenfeile.

Sublimat-vergiftung

Kann man die Verstärkungsarbeiten nicht in einem besonderen Raum ausführen, so muß im Dunkelzimmer die photographische Arbeit, soweit sie Entwickeln und Fixieren betrifft, vollständig beendigt sein, bevor man Verstärkungen vornimmt. Allzu große Vorsicht schadet nicht, denn die Platten, welche einmal in unrichtiger Weise mit der Quecksilberlösung behandelt worden sind, oder Natronflecke bekommen haben, sind verdorben und nicht mehr zu gebrauchen.

Die Verstärkung findet in der Weise statt, daß die gründlich, mindestens zwei Stunden lang, ausgewaschene Platte im feuchten Zustand in das Sublimatbad gelegt wird. Man schaukelt die Schale etwas, um eine gleichmäßige Ausbreitung der Lösung auf der Gelatineschicht zu erziehlen. Bei der schwachen Verstärkung läßt man das Negativ so lange in der Sublimatlösung, bis es leicht grau erscheint. Bei der starken Verstärkung

wird es längere Zeit in dem Bade gelassen, bis es vollständig von der Vorder- und Rückseite weiß geworden ist. Hierauf findet eine gründliche Abwaschung und Spülen der Platte, mindestens eine Viertelstunde lang, im fließenden Wasser statt. Ist dieses geschehen, so wird das Negativ in die Ammoniakschale gelegt und hierin so lange belassen, bis es von der Vorder- und Rückseite vollständig geschwärzt erscheint. Es ist jetzt ein abermaliges Abwaschen und Spülen von mindestens einer halben Stunde erforderlich, da Ammoniakteile sehr lange in der Schicht haften bleiben. Nachdem die Wässerung beendet ist, wird die Platte mittels Watte und Wasser leicht oberflächlich abgewischt, um etwaige kleine Niederschläge zu entfernen. Hierauf stellt man sie zum Trocknen auf oder trocknet sie vor einem Ventilator. Man kann die Verstärkung auch an solchen Negativen vornehmen, welche bereits aufgetrocknet sind. Es ist sogar von Gocht empfohlen worden, die zu verstärkenden Platten erst vollständig trocken werden zu lassen. Ich halte es für ziemlich gleichgültig, da der Effekt nicht wesentlich anders ist, als wenn man im feuchten Zustande verstärkt. Es ist indessen selbstverständlich, daß man im ersten Falle vorher eine gründliche Einweichung in Wasser von mindestens zwei Stunden vornehmen muß. Ist die Schicht nicht in allen ihren Partien gleichmäßig erweicht, dann bekommt man sehr leicht später Flecke oder Ringbildung. Schon anfangs wurde erwähnt, daß das Auswässern nach dem Fixieren mit großer Genauigkeit vorgenommen werden müsse, da sich sonst, durch Bildung von Schwefelquecksilber, Flecke von gelblicher Farbe, welche eine Platte vollständig verderben, einstellen.

Die Sublimatverstärkung ist äußerst bequem und kann ohne Schwierigkeiten vorgenommen werden, vorausgesetzt, daß man auf das sauberste und genaueste verfährt. Man sollte sich hüten, mit den Fingern in die Lösung hineinzufassen, da eine Benetzung mit dem Sublimat schon deswegen unangebracht ist, weil dadurch eine Übertragung in andere Bäder zustande kommen kann. Man bedient sich zum Anfassen der Platten kleiner Metallhaken, mit welchen man unter die Glasseite der Platte faßt. Auch das Arbeiten mit Gummihandschuhen ist bei der Sublimatverstärkung zu empfehlen.

Platten, welche mit Sublimat verstärkt sind, zeigen, wenn sie dauernd dem Tageslicht ausgesetzt werden, nach einigen Wochen gelbe Fleckenbildung. Im auffallenden Licht erscheinen sie bläulich metallisch glänzend. Auch diejenigen Platten, welche nicht dem Tageslicht ausgesetzt werden, zeigen nach Ablauf einiger Jahre diesen Metallglanz und werden hierdurch unbrauchbar. Hieraus

Ausstellungsplatten

folgt, daß Platten, die zu Ausstellungszwecken dauernd bei Tageslicht aufbewahrt werden sollen, keine Sublimatverstärkung durchgemacht haben dürfen. Zeigen die Platten nach dem Verstärken ein gekörntes Aussehen, so ist dieses ein Zeichen, daß die Quecksilberlösung zu alt war.

Ich unterlasse nicht hier auf die von Forssell angegebene Verstärkung, welche sich hervorragend für schwach gedeckte Magenbilder eignet, hinzuweisen.

Verstärkung nach Forssell

Die ausgewaschene Platte wird, bis die gewünschte Dichte erreicht ist, in einer Lösung von Uran nitr. 15,0, Acid. oxalic. 12,0, Kali chloric. 2,5, Kali ferricyanat 6,0, Aq. dest. 1000,0 gebadet, kurz abgespült und getrocknet. Sie erscheint dann schön braun gefärbt und zeigt im Gegensatz zu den in Sublimat verstärkten Negativen auch alle Halbschatten, die bei der Quecksilberverstärkung meist verloren gehen. Überverstärkte Platten kann man durch einfaches Auswaschen event. unter Hinzufügung einiger Tropfen Ammoniak wieder beliebig aufhellen.

Die Abschwächung.

Abschwächung

Die Abschwächung von überexponierten Platten wird in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron und rotem Blutlaugensalz vorgenommen. Die Konzentration des ersteren soll die gleiche sein, wie die des Fixierbades. Man löst rotes Blutlaugensalz in einer Flasche, wobei es auf die Konzentration weniger ankommt. Es ist auch ziemlich gleichgültig, wie viel Blutlaugensalz man dem Fixiernatron zusetzt, da je nach der Menge die Abschwächung schneller oder langsamer vor sich geht. Im allgemeinen arbeitet man sicherer mit schwachen Mischungen, welche eine leicht grünliche Färbung haben. Ist die Lösung konzentriert, so erfolgt die Abschwächung außerordentlich schnell, so daß man sehr leicht über das Ziel hinausschießt und die Platte zu schwach wird. Im Durchschnitt wird man das Negativ 5 Minuten in der Lösung liegen lassen müssen. Es ist unbedingt erforderlich, während dieser Zeit die Schale ununterbrochen zu schaukeln, da sich sonst streifige Flecken, die nicht zu beseitigen sind, bilden. Man kontrolliert am besten in der Durchsicht und hört mit dem Abschwächen auf, wenn man glaubt, daß die Platten den nötigen Kontrast bei genügender Transparenz haben.

Sowohl bei der Verstärkung wie bei der Abschwächung können Fehler gemacht werden. So kann eine Platte sehr leicht zu stark verstärkt werden, was wir daran erkennen, daß die Kontraste ge-

ringer werden und die Negative infolge übergroßer Deckung nicht genügend transparent erscheinen. Solche Platten, die gegen künstliches Licht noch ziemlich gut aussehen, kopieren auf Papier fast gar nicht mehr, so daß sie tagelang liegen müssen und auch dann manchmal keine merklichen Fortschritte machen. Ist ein Negativ überverstärkt, so wäscht man es gründlich aus und hellt es mit der Abschwächungslösung auf. Der Prozeß geht nun wieder zurück und man kann auf demjenigen Punkte stehen bleiben, welchen man für den jeweilig besten hält. Ist andererseits eine Platte zu stark abgeschwächt worden, so kann man sie nach gründlichem Wässern durch Verstärkung wieder auf einen höheren Dichtegrad und zu größerem Kontrastreichtum bringen.

Das Positivverfahren.

Das Positivverfahren wird nach den allgemein üblichen Grundsätzen in der Art ausgeführt, daß man bei Tageslicht auf Celloidinpapier kopiert. Es kann indessen auch bei elektrischem Bogenlicht gedruckt werden, zu welchem Zweck besondere Kopierlampen (Immelmann) konstruiert worden sind. Schöner und gleichmäßiger fallen indessen die Abzüge aus, wenn man bei Tageslicht möglichst langsam druckt. Sonnenlicht ist unter allen Umständen zu vermeiden. Man kann auch eines der bekannten Entwicklungspapiere benutzen, mit welchen man Bilder erhält, die einen mehr künstlerischen Eindruck, als die Abzüge auf Celloidinpapier hervorrufen. Im allgemeinen empfiehlt sich indessen, von den Abzügen nach Möglichkeit ganz abzusehen, da sehr viele Einzelheiten auf den Papierbildern verloren gehen. Feinere Diagnosen, wie z. B. solche auf Nierensteine, sollte man ausschließlich auf Grund der Betrachtung der Platten stellen. Man kann die letzteren dadurch, daß man die nicht in Betracht kommenden Partien mit einer schwarzen Papiermaske umrahmt und sie dann gegen abgeblendetes Tageslicht betrachtet, der Diagnose besser dienstbar machen, als dieses mit Papierabzügen überhaupt möglich ist. Es kommen aber zahlreiche Fälle vor, in denen man nicht umhin kann, Abzüge herzustellen, besonders wenn es sich darum handelt, bei Unfallbegutachtungen Material für die Akte zu beschaffen.

Positivverfahren

Die Behandlung der fertigen Platten.

Die mit schwarzem Papier abgedeckten Platten werden zweckmäßig mit einem Deckglas, wozu man alte gereinigte Negative

benutzen kann, belegt. Die Gelatineschicht entfernt man durch Waschen mit kochendem Wasser.

Für die Betrachtung der Platten bei abgeblendetem Tageslicht empfehlen sich die in Fig. 130 angegebenen Fenstereinsätze.

Transparenz-Fenster

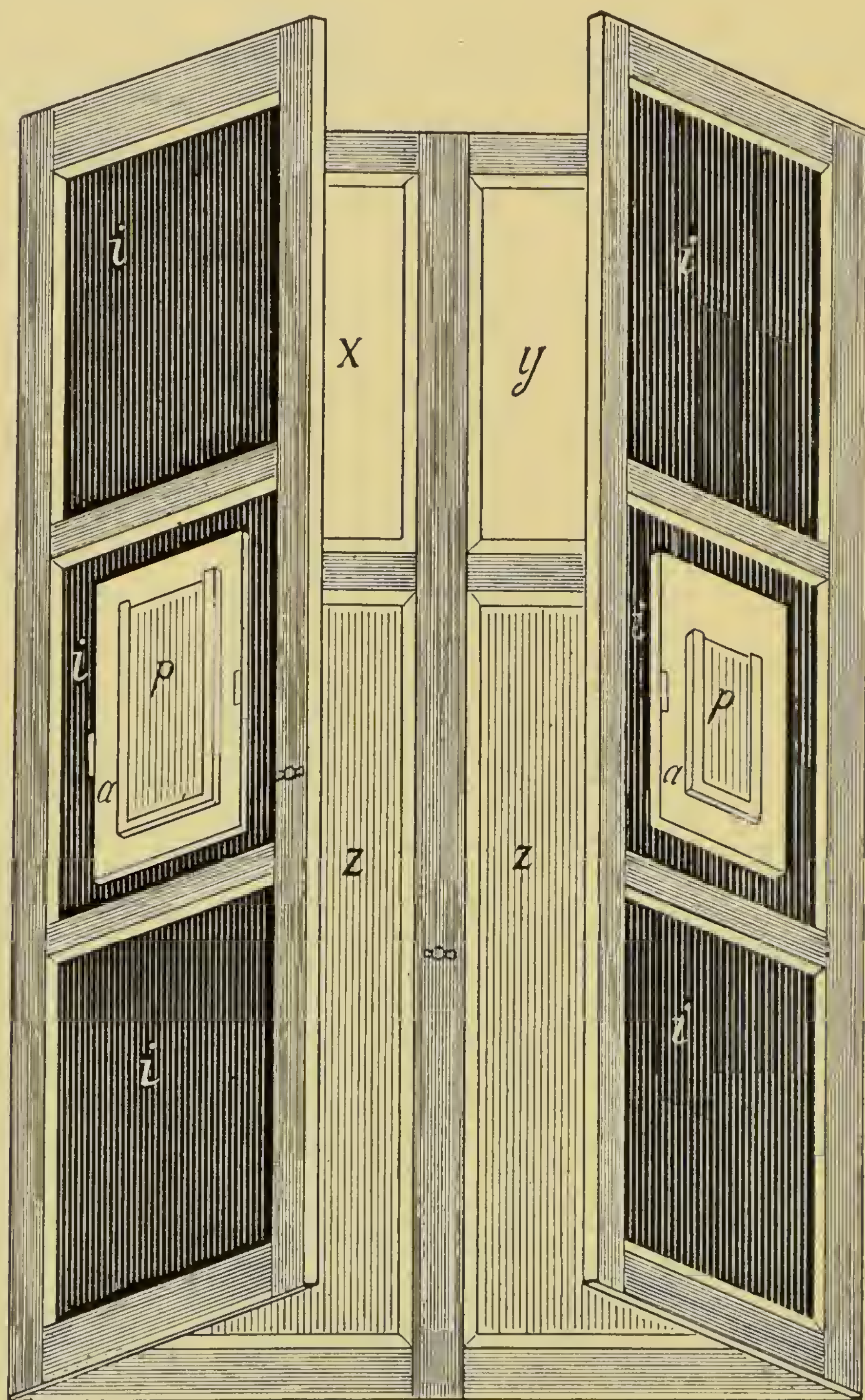


Fig. 130.

Nach Art der Doppelfenster ist ein zweites Fenster konstruiert, in welchem an Stelle der Glasscheiben Blechplatten (*i*) lichtdicht eingesetzt sind. Das mittlere Feld beider Fensterflügel ist quadratisch ausgeschnitten und trägt einen Rahmen zur Aufnahme der Kassetten. Im Rahmen befinden sich Nuten, um durch eine Blechscheibe

diesen lichtdicht schließen zu können. Die Kassetten (a) sind für je eine Plattengröße hergestellt. Sie sind genau quadratisch und werden über den Blechrahmen geschoben. Die Platte (p) wird in die Kassette von oben herab hineingelassen. Das zu verdunkelnde Fenster enthält zwei Mattglasscheiben (z) und zwei transparente Scheiben (xy).

Armiert man nun die beiden Einsatzrahmen mit Kassetten und schließt das Blechfenster, so befindet sich der Beschauer im Dunkeln. Alles Licht, das in das Zimmer gelangt, fällt durch die Platte, die hierdurch an Schönheit und Klarheit außerordentlich gewinnt. Man kann zum Vergleich zweier Negative beide Rahmen mit den be-

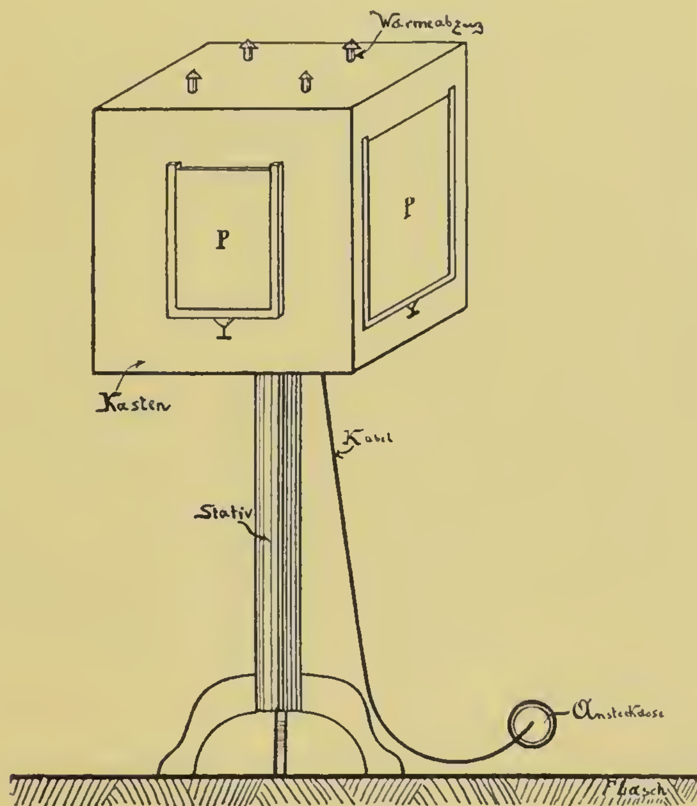


Fig. 131.

Schaukasten oder Negativbühne

treffenden in die Kassetten gelegten Platten armieren, ein Verfahren, das große Bequemlichkeit gewährt, wenn man z. B. einen schwer deutbaren Befund einer Extremität mit der gesunden anderen Seite vergleichen will. Ohne Schwierigkeit kann man eine auf diese Weise eingelegte Platte auf Papier durchzeichnen oder auch direkt als Diapositiv in jedem Maßstabe photographieren.

Für die Betrachtung der Platten bei künstlichem Licht wird ein Kasten (Negativbühne) verwendet, dessen Konstruktion aus Fig. 131 ersichtlich ist. Dieselben Blechkassetten, welche vor die Doppelblechfenster gesetzt werden, können vor die Mattglasscheiben des Beleuch-

tungskastens gehängt werden, so daß man hier in gleicher Weise wie bei Tageslicht, die Platten betrachten kann. Das letztere ist indessen das bessere und sollte daher in sehwierigen diagnostisehen Fällen stets benutzt werden. Einen sehr gut durchdachten Schaukasten mit indirekter Plattenbeleuchtung hat Forssell angegeben. Auch dieser eignet sieh zur Herstellung von Diaspositiven. Besonders wiehtig ist es, die Negative aus einiger Entfernung zu sehen, da manchmal kleine Untersehiede in der Diehte (z. B. Nierenschatten) erst bei einigem Abstand des Besehauers wahrgenommen werden. Das Betrachten mit abgeblendetem Tages- oder elektrisehem Licht hat aueh den Vorteil, daß Platten, welche etwas überexponiert sind und daher reiehlich dicht erscheinen, im durehfallenden, abgeblendeten Licht einen verhältnismäßig vorzügliehen Eindruek maehen. Für Personen, die keine Übung im Deuten von Röntgenplatten haben, halte ich es für sehr wichtig, in der vorstehenden Art die Negative zu studieren. Ärzten, welehe in das Laboratorium kommen, um sieh Röntgenplatten demonstrieren zu lassen, zeige man die Negative nur mittels der durehfallenden, abgeblendeten Beliehtung. Man kann diese Blechfenster mit einsetzbaren Rahmen, sowohl im Laboratorium wie im Dunkelzimmer anbringen. Es empfiehlt sieh hierfür das erstere auszuersehen, da die Fenster alsdann gleichzeitig zur Verdunklung des Zimmers dienen und somit Vorhänge überflüssig machen. Immerhin ist es wünschenswert, auch im Dunkelzimmer oder in einem daneben liegenden Raum eine kleine Mattseheibe für Tageslicht zur Verfügung zu haben, damit man nicht genötigt ist, mit den fertigen Platten umherzugehen, wodureh sie nur allzuleieht Schaden erleiden können.

Schaukasten (Forssell)

Die Standentwicklung.

Stand-entwicklung

Im folgenden soll eine bewährte Art der Entwicklung besehrieben werden, welche es vor allen Dingen auch demjenigen möglieh maeht, vorzügliehe Resultate zu erzielen, der keine Erfahrung in photographisehen Dingen bisher gesammelt hat, ein Verfahren, das ferner gestattet, dieEntwicklung dem Personal ganz zu überlassen.

Man benutzt zur Standentwieklung Blechkästen, welehe einen herausnehmbaren Einsatz enthalten, der mit Nuten versehen ist und je nach der Größe der Formate, drei, vier, ja noeh mehr Platten aufnehmen kann. Diese Bleehkästen werden mit Entwiekler-flüssigkeit bis an den Rand gefüllt und in dieselben die mit den

Platten armierten Einsätze hineingehängt. Hierauf wird der Blechkasten geschlossen und die Platte solange darin gelassen, bis die Entwicklung beendet ist. Es existieren für die gebräuchlichen Plattenformate 9/12, 13/18, 18/24 solche Kästen im Handel. Aus Papiermaché hergestellte Standentwicklungsgefäße empfehlen sich nicht, da sie in kurzer Zeit undicht werden. Für die Formate 30/40 und 40/50 habe ich Kästen aus Holz konstruieren lassen, welche Zinkeinsätze enthalten und ca. 5 Liter Flüssigkeit fassen können (Fig. 132). Ich möchte indessen vorweg nehmen, daß die

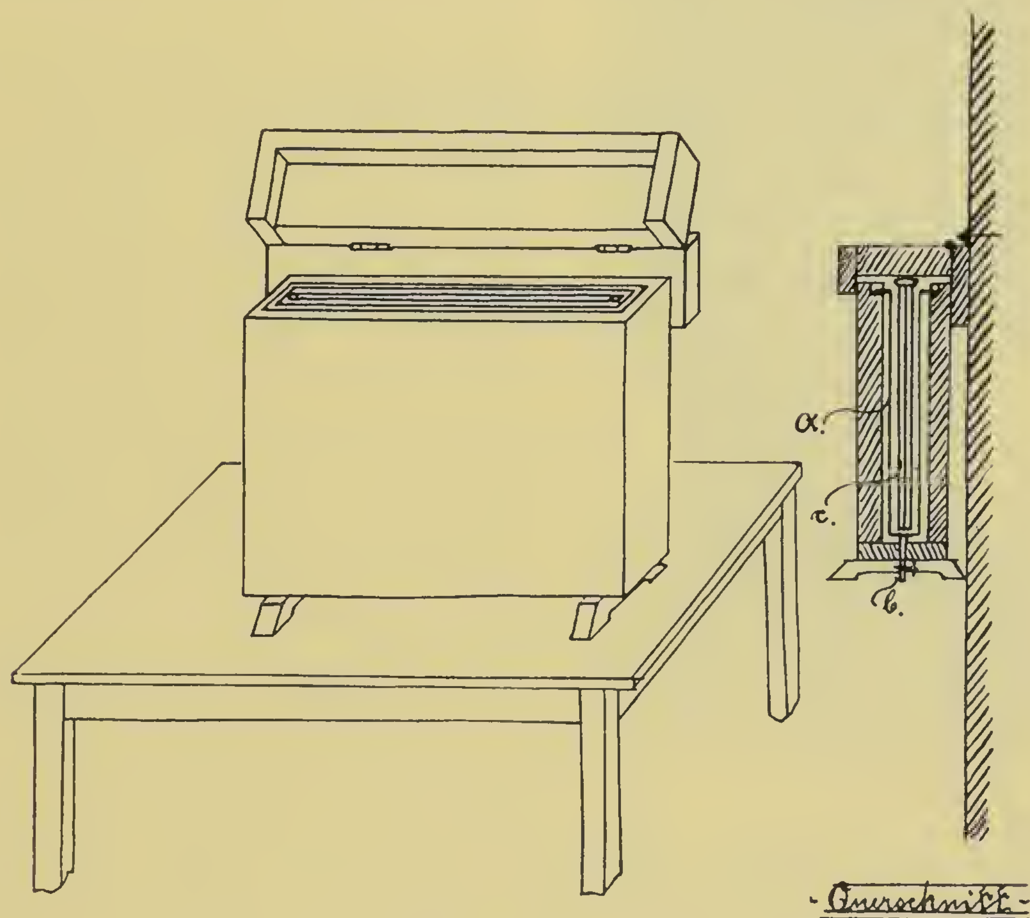


Fig. 132.

großen Formate wegen ihrer schweren Handlichkeit sich weniger für die Standentwicklung eignen als die kleinen. Diese Kästen für große Platten sind, um Platz und Entwickler zu sparen, so schmal gebaut, daß nur zwei Platten 40/50 oder 30/40, Glasseite gegen Glasseite darin aufgenommen werden können. Das Format 40/50 steht mit der 50 cm-Seite, das Format 30/40 mit der 30 cm-Seite senkrecht zur Horizontalen. Auf diese Weise läßt sich derselbe Kasten für die beiden ebengenannten Formate benutzen. Die Kästen sind mit Ablaufhähnen und lichtdichten Deckeln versehen. Die Firma Hirschmann (Reiniger, Gebbert & Schall) in Berlin hat diese Gefäße in etwas anderer Konstruktion in den

Handel gebracht. Fig. 133 zeigt ein solches. Beide Kästen I und II, deren Nr. I für 30/40 und II für 40/50 dient, sind sehr zweckmäßig unter einem Deckel auf demselben Stativ vereinigt. Statt der Blecheinsätze sind solche aus Zelluloid, statt der Blechrahmen leichte Plattenhalter aus Messingdraht genommen worden. Die ersteren sind indessen praktischer und deshalb vorzuziehen. Als Entwickler wird auch hier Glyzin verwendet, und zwar die beiden oben beschriebenen Lösungen. Lösung 1 und 2 werden in einer 5-Literflasche zusammengegossen, und dazu 2—4 Liter Leitungswasser gesetzt. In dieser Mischung lassen sich, ohne daß sie zu schwach wird, ca. 20 Platten großer, und ca. 30—40 kleiner Formate entwickeln. Benutzt man die Lösung in einer Verdünnung mit etwa 2 Litern Wasser, so dauert die Entwicklung nicht länger, als wenn man in der vorbeschriebenen Weise mit der Hand verfährt. In ca. 15—20 Minuten sind bei frischen Glyzinlösungen die Platten fertiggestellt. Ist die Lösung etwas verdünnter, so wird sich die Entwicklungszeit auf ca. 40 Minuten belaufen. Länger sollte man nicht entwickeln, da Verschleierungen entstehen können. Gegebenenfalls müßte man also, wenn der Prozeß nach 40 Minuten noch nicht beendet sein sollte, etwas frische Lösung hinzusetzen. Ein Nachsehen und Kontrollieren der Platten während der Entwicklung ist überflüssig, aber trotzdem leicht auszuführen, da an den Blecheinsätzen Haken angebracht sind, an denen man die ersteren herausziehen kann. Besonders ist darauf zu achten, daß stets die genügende Menge Entwickler in den Kästen enthalten ist, damit nicht Teile der Platte aus der Flüssigkeit herausragen und infolgedessen nicht mit entwickelt werden. Es ist unnötig nach dem Gebrauch die Kästen zu entleeren und den Entwickler in eine Flasche überzufüllen, man kann ihn ruhig in den Gefäßen stehen lassen, vorausgesetzt, daß man diese sorgfältig zudeckt. Die Entwicklung, welche vollständig automatisch verläuft, hat den Vorteil, daß man nicht gezwungen ist lange Zeit das Dunkelzimmer im roten Licht zu be-

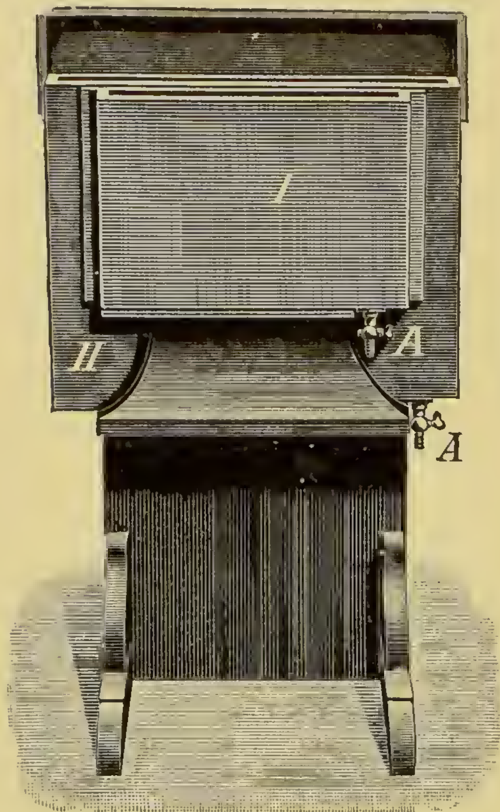


Fig. 133.

nutzen, denn, sobald die Entwicklungskästen mit ihren Deckeln geschlossen sind, kann weißes Licht gebraucht werden und erst wenn die Platten fertiggestellt sind, ist es erforderlich wieder zu verdunkeln.

Nach vollendeter Entwicklung werden die Platten aus den Kästen herausgenommen und in der gleichen Weise, wie oben beschrieben, weiter behandelt. Ich möchte annehmen, daß die schönsten Negative, die überhaupt zu erzielen sind, durch eine richtige Handhabung der Standentwicklung gewonnen werden.

Die Herstellung von Diapositiven.

Herstellung von Diapositiven

Die Herstellung von Diapositiven, in verkleinertem Maßstabe, findet statt um Platten mittels des Projektionsapparates oder des Epidiaskopes einer größeren Anzahl von Zuschauern zugänglich zu machen. Man verfährt, wenn man nicht im Besitze eines Vergrößerungs- resp. Verkleinerungsapparates für künstliches Licht ist, so, daß man eine zu verkleinernde Platte in den oben beschriebenen Fensterrahmen mittels der dazu gehörigen Blechkassette einsetzt. Eine photographische Kamera wird mit ihrem Objektiv genau in der gleichen Höhe der Platte aufgestellt und auf der Mattscheibe die Entfernung, in welcher sich der Apparat von dem Negativ befinden muß, bestimmt. Man kann entweder auf 9/12 oder auf $8^1/_2/10$ verkleinern. Es ist sehr wichtig, daß man auf der Mattscheibe alle Einzelheiten des Negativs scharf und deutlich erkennt, denn wenn die Einstellung nicht exakt ist, kann man keine scharfen Diapositive erhalten. Auch die Blende der Kamera muß angewendet und je nach der Dichte des zu verkleinernden Negativs weiter oder enger gewählt werden. Nachdem der photographische Apparat eingestellt worden ist, wird er mit einer Platte 9/12 resp. $8^1/_2/10$ versehen und die Aufnahme gemacht. Je nachdem man bei künstlichem Licht oder besser bei Tageslicht photographiert, ist die Belichtungszeit zu wählen. Hierzu ist zu bemerken, daß die Platten, auf welche man verkleinert, Diapositivplatten (The Mawson Lantern Plate) [1]), Chlorsilber-Gelatineplatten sein müssen. Das Diapositiv wird nach den üblichen Grundsätzen entwickelt, gewaschen und eventuell verstärkt.

In vielen Fällen ist die Herstellung der Diapositive indessen nicht so einfach wie eben beschrieben. Handelt es sich um sehr kontrastschwache Negative, beispielsweise um Nierensteinplatten, so werden auch die Diapositive meistens recht schwach ausfallen,

[1]) Bei Adolf Krüss, Hamburg, Adolfsbrücke.

wenngleich durch den Vorgang der Verkleinerung im allgemeinen der Kontrast zunimmt. Sind die Diapositive zu flau, so werden sie durch mehrfaches Umdrucken, ein in der photographischen Technik bekanntes Verfahren, verstärkt. Man macht dieses so, daß man das fertig getrocknete Diapositiv im Dunkelzimmer, Schicht gegen Schicht, auf eine andere Diapositivplatte von gleichem Formate legt. Beide werden durch zwei Klemmen fest aufeinander gepreßt. Mittels eines Streichholzes oder einer niedriggestellten Gasflamme belichtet man jetzt kurze Zeit und erhält eine Kopie des Diapositivs, also wiederum ein Negativ. Dieses zweite Negativ wird einer intensiven Quecksilberverstärkung unterworfen. Nachdem es getrocknet ist, legt man es abermals auf eine Diapositivplatte von gleichem Format und belichtet wieder und erhält somit ein zweites Positiv, welches durch den doppelten Verstärkungsprozeß an Kontrast gewonnen hat. Man kann dieses beliebig oft wiederholen und ist schließlich imstande durch mehrfaches Verstärken und Neudrucken aus einem schwachen Negativ ein kräftiges Diapositiv oder Negativ zu machen. Es empfiehlt sich das Verfahren auch dann, wenn es sich nicht um die Herstellung von Diapositiven handelt, sondern wenn man eine wertvolle aber schwache Platte verbessern will. Man verfährt dann in genau derselben Weise, nur daß man keine Diapositivplatten zu benutzen braucht. Das Originalnegativ wird verstärkt, dann auf eine Platte des gleichen Formats gelegt und belichtet. Das so erhaltene Positiv wird wiederum verstärkt, nachdem es trocken ist auf eine Platte des gleichen Formats gedruckt und diese Platte abermals verstärkt. Der Unterschied zwischen dem ersten und dem durch zweimaliges Umkopieren gewonnenen zweiten Negativ ist in die Augen fallend. Hier kann man zweckmäßig auch noch andere Verstärkungsmethoden anwenden, wie die Argentum- oder die Uranverstärkung, auch das Benutzen von Isolarplatten kann beim Übertragen unter Umständen von Vorteil sein. Selbstverständlich ist dieser Prozeß ein mühsamer und nebenbei ein sehr kostspieliger, der natürlich nur dann Anwendung finden wird, wenn es sich darum handelt eine Platte zu verbessern, die außerordentlich selten ist, und die man in einer schöneren Ausführung sich durch eine zweite Aufnahme nicht verschaffen kann. Die Diapositive, welche man im Projektionsapparat vorzuführen beabsichtigt, müssen kontrastreich und nebenbei nicht zu stark gedeckt sein, da sonst das Licht des Projektionsapparates nicht hindurchdringt und auf der Leinwand dunkle Partien entstehen. Die Technik der Herstellung von Diapositiven ist nicht ganz leicht und bedarf einer längeren Übung. Es werden manche Platten verdorben werden, bevor man ein einwandfreies Resultat

Verstärkung durch Umdrucken

Projektionsbilder

erzielt hat. Kleineren Laboratorien, welche nicht über das nötige Personal für diese photographischen Arbeiten verfügen, ist zu empfehlen, einem Fachphotographen die Negative zur Umarbeitung in Diapositive zu übergeben, wobei der letztere aber besonders darauf hinzuweisen ist, daß schwache, wenig kontrastreiche Platten durch mehrfache Verstärkung und Umdruckung verbessert werden müssen. Man kann Diapositive, welche die Originalplatte als Negativ oder als Positiv zeigen, zur Projektion verwenden. Im ersteren Falle erscheint auf der Projektionswand das Bild, so wie wir es auf dem Negativ zu sehen gewohnt sind, im anderen Falle, was für Projektionszwecke vorzuziehen ist, in der Weise, wie es uns der Papierabzug zeigt. Fachphotograph

Da man oft in die Lage kommt, Platten mit der Post versenden zu müssen, so sei darauf hingewiesen, daß man sich nur durch sachgemäße Verpackung vor Bruchschaden bewahren kann. Die zum Postversand bestimmten Platten werden in Seidenpapier, nicht in Zeitungspapier, eingewickelt, in einen leeren Plattenkasten von gleichem Format verpackt. Für den Fall, daß sie den Kasten nicht vollständig ausfüllen, muß der übrig bleibende Raum mit Watte prall ausgestopft werden. Der Plattenkasten wird alsdann mit Bindfaden verschnürt und nunmehr in einer Kiste sorgfältig mittelst Holzwolle verpackt. Er kann auch in einer dicken Umhüllung von Holzwolle mittelst Packpapier umwickelt und verschnürt werden. Jedenfalls muß in diesem Falle die Schicht der Holzwolle so dick genommen werden, daß etwaige Stöße nicht bis auf den Kasten durchzudringen vermögen. Postversand von Röntgenplatten

---

12. Kapitel.

Röntgenschädigungen und Schutzvorrichtungen.

Das Kapitel der Röntgenverbrennung gehört zwar nicht in den Rahmen dieses Buches, dennoch ist es erforderlich diejenigen Schutzmaßregeln zu besprechen, welche speziell für den diese Untersuchungsmethode ausübenden Arzt persönlich, sowie für den Patienten in Betracht kommen.

Da man im Anfang keine Kenntnis von der außerordentlichen Wirkung, welche die Bestrahlung auf die menschliche Haut ausübt, hatte, wurde sorglos verfahren und die Strahlen ohne Kritik am menschlichen Körper angewandt. Besonders waren es die Ärzte

und Techniker, welche ihre Hände als Testobjekte für die Beurteilung der Röhrenqualitäten benutzten. Es war sehr verlockend die leicht zu durchstrahlenden Finger, die vorzüglich sichtbare Mittelhand und die Handwurzelknochen als Objekte zu gebrauchen, da sie über die Strahlenqualität einen wesentlich genaueren Aufschluß gaben als die Skiameter und andere ähnliche Apparate. Die schädlichen Folgen zeigten sich indessen bald, denn nach Ablauf einiger Zeit begannen sich am Handrücken der Untersucher die jetzt allseitig bekannten Hautveränderungen, beginnend mit Erythemen und Rötungen und in vielen Fällen mit Cancroiden der Haut endigend, zu zeigen.[1]) Haarausfall folgte dann im Laufe der Zeit, kleinere Ulzerationen, Warzenbildung, Rhagaden, subkutane punktförmige Blutungen, Veränderungen an den Nägeln, Atrophie der Schweiß- und Talgdrüsen, die chronischen Zustände, welche nach ein oder mehrmaliger Verbrennung entstehen. Je nachdem nun die einzelnen Untersucher mehr oder weniger vorsichtig waren, sind sie vor schweren Schädigungen bewahrt geblieben. Leider ist eine große Anzahl indessen doch erheblich in ihrer Gesundheit beeinträchtigt worden, indem Ulzerationen mit tiefgehendem Zerfall am Handrücken und an den Fingern, welche in manchen Fällen zu chirurgischen Operationen führen mußten, sich bildeten. Es sind Mittelhandknochen herausgenommen, Transplantationen gemacht worden und anderes mehr. Leider sind auch die allerschwersten Eingriffe wie Amputationen und Exartikulationen den Ärzten und Technikern nicht erspart geblieben.

Röntgenschädigungen der Hände

Ich muß hier an den ersten letal verlaufenen Fall erinnern, welcher sich in Hamburg bei dem um die Röhrenfabrikation verdienten Techniker Bauerschmidt ereignete. B. hatte eine Reihe von Jahren hindurch seine Hand als Testobjekt gebraucht und schließlich ein tiefes, weitgreifendes Röntgenulcus davon getragen. Leider kam er nicht in sachverständige Behandlung, sondern verschleppte die Krankheit, so daß sich auf Grund dieses Ulcus ein Hautcancroid bildete. Dieses führte bald zu Metastasen in den Drüsen, welche die Exartikulation des Humerus im Schultergelenk erforderlich machten. Später traten Metastasen im Unterkiefer auf, die schließlich nach qualvollen Leiden zum Tode führten. Leider ist dieser Fall nicht vereinzelt geblieben. Carcinomatöse Neubildngen haben noch weitere Opfer gefordert. Charles Allen Porter (Boston) hat in den *Transactions of the American Röntgen Ray Society 1908* 47 Fälle teils von ihm selbst teils von anderen Autoren behandelter Röntgenverbrennungen publiziert, von denen 36 zweifellose Cancroide waren. Von diesen 36 Fällen endeten 9 mit dem Tode, also eine Mortalität von 25 %.

Cancroide der Hand

Mortalität

Wir haben leider Todesfälle angesehener Fachgenossen an den Folgen der Röntgenverbrennung zu beklagen.

---

[1]) Vgl. Unna: Die chronische Röntgendermatitis der Röntgenologen. *Fortschritte a. d. Geb. d. R.-Str.* Bd. VIII, Heft 2.

Weniger schlimme Veränderungen, welche indessen äußerst entstellend wirken, sind die bleibenden Teleangiektasien. Am unangenehmsten, weil mit Schmerzen verbunden, sind die vielfachen Rhagaden und Excoriationen an den Fingern, die nebenbei zu Eingangspforten für Infektionen werden können. Diese Schädigungen, welche chronische Zustände darstellen, sind therapeutisch wenig oder gar nicht zu beeinflußen. Vor allen Dingen hüte man sich, seine Hände der Röntgenbestrahlung auszusetzen, und suche sich auf jede andere Weise als durch Exponieren der eigenen Haut zu helfen.

In der ersten Auflage dieses Lehrbuches schrieb ich:

„Wenn auch bis jetzt keine Publikationen über Schädigungen allgemeiner Art, speziell der inneren Organe, veröffentlicht worden sind, so bleibt es doch anzuraten auch die übrigen Teile des Körpers vor den Einwirkungen der Röntgenstrahlen sorgfältig zu schützen, denn die Zeit, während welcher mit diesem Agens gearbeitet wird, ist noch zu kurz, um schon mit Sicherheit sagen zu können, daß Bestrahlungen für die inneren Organe gleichgültig sind.“ **Schädigungen innerer Organe**

Meine Vermutung hat leider ihre Bestätigung gefunden.

Die Untersuchungen von Heinecke haben das Resultat ergeben, daß die Röntgenstrahlen auch bei größeren Tieren in genau der gleichen elektiven Weise wie bei Mäusen und Meerschweinchen auf das lymphoide Gewebe des ganzen Körpers einwirken und dasselbe zerstören. Eine viertelstündige Bestrahlung aus kurzer Entfernung hat bei Kaninchen und Hunden noch deutliche und nicht unbeträchtliche Zerstörungen von Lymphfollikeln zur Folge. Es handelt sich im wesentlichen um einen Kernzerfall der Lymphocyten. Sodann sind Wirkungen zerebraler Art beschreiben worden. Bertin hat bei Tieren Lähmungen und Krämpfe mit tödlichem Ausgang beobachtet. Oudin und Barthélémy sahen bei einem Meerschweinchen nach der Bestrahlung Paraplegien auftreten. Ähnliches publizierten Kienböck, Scholtz und Jutassy. Ich selbst beobachtete bei einem von der Bauchseite bestrahlten Kaninchen, bei welchem es nicht zu Hauterscheinungen gekommen war, plötzliches Auftreten von Lähmungen in den hinteren Extremitäten. Das Tier konnte nur mühsam seine Nahrung erreichen und führte eigentümliche Bewegungen mit dem Kopf aus. Es lebte in diesem Zustand viele Wochen. Der Tod trat aus unbekannter Ursache ein, eine Sektion wurde nicht gemacht. Einen Bericht über nervöse Störungen z. B. des Herzens, Arythmien usw., ferner Mitteilungen über Entstehung von Arteriosclerose finden wir im *Archiv d' électricidé médical* 1905. Auch Schär hat ähnliche nervöse Störungen beobachtet.

Sodann ist auf die vom Verfasser entdeckte Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Testikel der Meerschweinchen und Kaninchen zu verweisen. Dieselben athrophieren mehr oder weniger vollständig, eine Restitutio ad integrum fand nicht statt. Die Azoospermie war nach Bestrahlungen längerer Dauer eine vollständige. Diese Befunde sind inzwischen anerkannt und von Scholtz, Seldin, Philipp, Ogsten, Brown, Osgood,[1]) Lapowski, Simmonds und anderen vielfach bestätigt worden. Halberstädter wies analoge Degenerationen nach Bestrahlung der Ovarien von Tieren nach. Die Bestrahlung der Ovarien, durch die Bauchdecken hindurch führt binnen kurzem zur artificiellen Menopause oder Sterilität der Frauen durch Schwund der Grafschen Follikel und Atrophie der ganzen Organe. Die Röntgentherapie der Leukämie[2]) und gewisser gynäkologischer Erkrankungen beweist ebenfalls die Wirksamkeit der Strahlen auf innere Organe. Helber und Linser beobachteten bei Tieren nach längerer Bestrahlung teilweisen und völligen Schwund der weißen Blutkörperchen und Auftreten von Nephritiden durch Einwirkung des entstandenen Leukotoxins. Zerstörung der roten Blutkörperchen nimmt Heinecke als wahrscheinlich an. Krause und Ziegler wiesen bei Tieren starke Schädigungen der Milz, der Lymphdrüsen, des Rückenmarks und der Darmfollikel nach. Daß auf die Herztätigkeit gewisse Einflüsse ausgeübt werden, glaubt Verfasser in mehreren Fällen beobachtet zu haben. Auch die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf das Auge ist eine bedeutende. Verfasser sah bei einem in der Röhrenfabrikation beschäftigten Arbeiter das Auftreten von Konjunktivitiden. Birsch-Hirschfeld[3]) beschreibt ausgesprochene entzündliche Erscheinungen am vorderen Augenabschnitt, ferner degene-

---

[1]) *Journal of Surgery.* 1905. Vol. XVIII, Nr. 9.

[2]) Zusammenfassende Besprechung siehe Krause: *Fortschritte a. d. Gebiete der Röntgenstrahlen.* Bd. VIII, Nr. 5.

[3]) Birsch-Hirschfeld, (Die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen.) schreibt:

Augenschädigungen

„Im allgemeinen können wir zwei Arten von Gewebsschädigung unterscheiden. Die erste betrifft die Deckzellen der Hornhaut und die Nervenzellen der Netzhaut. Die Veränderungen an den ersteren erinnern an die Vorgänge, die sich nach Bestrahlung tierischer oder pflanzlicher Keimzellen mit Röntgen- oder Radiumstrahlen feststellen lassen. Auch hier führt die Bestrahlung nicht zu direktem Zelltod oder Wachstumsstillstand, sondern die Entwickelung der Zelle schreitet sogar fort, führt aber nicht zum normalen Abschluß, sondern zur Entstehung eigenartiger Mißbildungen.

An der Nervenzelle der Netzhaut konnte ich nach intensiver Bestrahlung sehr ausgesprochene Zerfallserscheinungen nachweisen, an die sich weiterhin Zerfall der Nervenfaser und Sehnervenschwund anschloß. Diese Veränderungen, die man als direkte Zelldegeneration bezeichnen muß, konnte ich am Tier-

rative Veränderungen an Netzhaut und Atrophie des Sehnerven. Hippel konnte durch Bestrahlung von Kaninchenembryonen im Uterus Schicht- und Zentralstar erzeugen. Schließlich ist auf die schweren Knochenwachstumsstörungen infolge längerer Röntgenbestrahlung (Försterling, Krukenberg und andere) hinzuweisen.

Bevor ich zur Beschreibung der Schutzmaßregeln übergehe, möchte ich mit einigen Worten die Behandlung der chronischen Röntgendermatitis der Ärzte und Techniker besprechen.

Da es sich vorwiegend um Hautatrophien, speziell um Atrophien der Talgdrüsen verbunden mit Hyperkeratose handelt, so entstehen Rhagaden infolge Brüchigwerden der Haut. Aus den ersteren wiederum entwickeln sich sehr leicht kleinere oder größere, sehr langsam heilende Ulcera. Die Warzenbildung, eine der unange- Therapie der Röntgendermatitis

---

auge aber auch an menschlichen Augen beobachten, die zu Heilzwecken ohne genügenden Schutz bestrahlt worden waren.

Die zweite Art der Gewebsschädigung betrifft die Gefäße, deren innere zellige Auskleidung eigentümliche Quellungs- und Zerfallserscheinungen darbietet, die zum Durchtreten flüssiger und zelliger Blutbestandteile in das umgebende Gewebe zum Verschluß des Gefäßes und Ernährungsstörungen der von den Gefäßen versorgten Gewebsteile führen können."

Interessant ist eine Betrachtung von Köhler über das Verhältnis der menschlichen Augen zur Röntgenstrahlenwirkung. Köhler schreibt:

„Jedes Sinnesorgan hat sich im Laufe seiner Entwickelung von den Urgeschöpfen bis zum Menschen in der Weise entwickelt, daß es bei jedem tierischen Wesen die Eigenschaften besitzt, die die betreffende Art von Individuum zum Existieren braucht. Werden nun Sinneswerkzeuge von gewissen Geschöpfen plötzlich und intensiv vollständig neuen äußeren Faktoren ausgesetzt, und zwar Faktoren, die im Verlaufe früherer Jahrtausende niemals, oder nie erheblich auf das betreffende Sinnesorgan der betreffenden Art eingewirkt haben — einfach, weil sie nicht vorhanden waren — dann tritt ganz naturgemäß eine Schädigung des Organs ein. So verhält es sich mit Auge und Fluorescenzlicht. Das tierische Sehorgan ist bisher nicht gewohnt, Fluorescenzlicht zu verarbeiten. Die wenigen Erscheinungen von Fluorescenz und Phosphorescenz, die auf der Erdoberfläche sonst das menschliche Auge treffen, sind in dieser Hinsicht gleich Null. Und die für diese Lichtarten empfänglichen Sinnesorgane der Tiefseetiere wie Malakosteus, Echiostoma, Crinoidea, Noctiluca usw. liegen biogenetisch dem menschlichen Auge so fern, daß sie kaum in Betracht kommen können. Kurz, das Auge des Röntgenologen, jetzt gezwungen, Jahrzehnte hindurch täglich stundenlang intensives Fluorescenzlicht — das außerdem selbst beim besten Unterbrecher niemals ganz ruhig sich darbietet — aufzunehmen, muß naturgemäß stark leiden, ganz abgesehen davon, daß sich trotz Anwendung stärkster Bleigläser vor dem Schirm die direkt schädigende Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Bindehaut, Cornea und Retina niemals absolut wird ausschalten lassen. Auge und Fluorescenzlicht

Daraus ergibt sich für den vernünftigen Arzt, der sich nicht nur vorübergehend mit Röntgenuntersuchungen beschäftigen will, die Forderung, die Schirmuntersuchung nur da anzuwenden, wo sie unter keinen Umständen zu umgehen ist, und sie stets in kürzester Zeit zu beenden."

nehmsten und häßlichsten Entstellungen beruht auf pathologischen Veränderungen im Papillarkörper infolge der Bestrahlung. Die Warzen werden leicht infiziert, und heben sich dann ab, wodurch das Corium bloßgelegt wird und ein Geschwür entsteht. Auf diesem kranken Boden findet eine Heilung nur sehr schwer statt.

Eine eigentliche Therapie, welche die krankhaften Zustände zu beseitigen imstande wäre, gibt es nicht. Es existieren nur einzelne Hilfsmittel, welche es ermöglichen symptomatisch zu wirken und das Auftreten von Rhagaden nach Möglichkeit einzudämmen. Vor allen Dingen sollte man jede starkätzende Medikation, wie Höllenstein, vermeiden, da im allgemeinen infolge der schlechten Ernährung und Regenerationskraft der Haut die durch Höllensteineinwirkung gereizten Ulcera sich eher vergrößern als verkleinern. Je indifferenter die Behandlung, desto besser ist dieselbe. Es empfiehlt sich die Anwendung von Fett, wozu am besten Lanolin oder eine aus Wachs und Olivenöl bestehende Salbe benutzt wird. Man schaffe sich für ihre zweckmäßige Applikation ein Paar weite Valoleumhandschuhe, welche die Hand nirgends drücken, an. Ein heißes Handbad, das so warm genommen werden muß, wie man die Temperatur ertragen kann, wird zunächst vorausgeschickt. Mit Seife, eventuell mit Kaliseife, wird die Haut sorgfältig abgewaschen und hierauf im heißen Seifenwasser $^1/_4$ Stunde lang aufgeweicht. Nun werden die Hände gut abgetrocknet und sofort mit Lanolin oder Wachssalbe bestrichen in die Handschuhe gesteckt. In diesen kann man sehr gut arbeiten, ja sogar bei einiger Übung auch schreiben, jedenfalls lassen sich Röntgenuntersuchungen ganz gut ohne wesentliche Beeinträchtigung mit ihnen ausführen. Nachdem die Handschuhe eine Stunde gesessen haben, werden sie abgezogen und mit einem Tuch das Fett abgerieben. Man nehme hierzu indessen keine guten Handtücher, da sie durch das Fett verdorben werden und auch nach gründlicher Wäsche gelbe Flecken behalten. Dieses Handbad mit darauf folgender Einfettung wiederhole man, wenn irgend möglich, mehrere Male am Tage. Auch empfiehlt es sich unter Umständen die Handschuhe während der ganzen Nacht an den Händen zu behalten, jedoch nimmt man dann besser Fausthandschuhe, da die Fingerhandschuhe leicht drücken. Die Folge dieser Behandlung ist ein außerordentliches Weichwerden der Haut. Sie bekommt für einige Zeit, manchmal für Tage, ihre Elastizität wieder, so daß die Rhagaden, inzwischen sämtlich zur Abheilung kommen. Warzige Verdickungen. die noch nicht lange bestehen und nicht in die Tiefe gehen, können in diesem Stadium leicht durch Abreiben mit Bimsstein entfernt werden. Der Nagelfalz, welcher

häufig Verhornung der Epidermis zeigt, wird weicher und weniger gewulstet. Es ist indessen zu bemerken, daß diese Therapie nur eine vorübergehende Wirkung hat, denn wenn man während einiger Tage die Hand nicht in der vorbeschriebenen Weise behandelt, stellt sich die alte Brüchigkeit der Haut mit ihren unangenehmen Folgezuständen wieder von neuem ein.

Kleinere Ulcerationen, welche, wie bemerkt, eine sehr geringe Heilungstendenz zeigen, behandelt man unter Umständen mit Jodtinkturpinselung. Die Jodtinktur hat eine sehr milde, gerbende und ätzende Wirkung und trocknet nebenbei stark aus. Man kann hiermit kleinere Geschwüre unter Umständen schnell zur Heilung bringen. Ist es indessen zu schwererer Geschwürsbildung gekommen, so muß man nach chirurgischen Grundsätzen verfahren.

Chirurgische Behandlung

Alle der Behandlung andauernd trotzenden Rhagaden, Keratosen, Warzen oder Ulcerationen lasse man unbedingt unter lokaler Anästhesie frühzeitig bis in das gesunde Gewebe hinein exzidieren und durch eventl. mehrfach vorgenommene Transplantationen nach Thiersch decken, denn die Gefahr, daß sich aus einem solchen Ulcus ein Cancroid entwickelt, ist groß. Vor der Wundnaht ist zu warnen, selbst bei absoluter Asepsis heilen die nach der Exzision genähten Wunden infolge der Gefäßveränderungen meist schlecht, da die Nähte in dem brüchigen Gewebe oft durchreißen.

Schlechtere Erfahrungen als mit der Exzision habe ich mit Auskratzen mittels scharfen Löffels nach vorherigem Gefrieren des Ulcus mit Aethyl-Chlorid gemacht. Vor allen Dingen muß sehr gründlich und tief ausgekratzt, und alles pathologische Gewebe entfernt werden, da anderenfalls Recidive mit Sicherheit zu erwarten sind. Die Heilung ausgekratzter Stellen am Nagelbett erfolgt durch Granulation meist nach 4—5 Wochen, an den übrigen Handpartien schneller. Als Verband für die ausgekratzten Stellen nehme man zunächst trockene sterile Gaze, später Dermatolpulver oder Jodoformgitter (Unna)[1]. Dieses ist eine feste mit Jodoform imprägnierte Stramei, von welcher 1 qcm große Stücke auf die Wunde gelegt und mit Zinksalbenmull bedeckt werden. Der ganze Verband wird durch eine Gazebinde festgehalten. Da die Secretion anfangs sehr stark ist, so wechsele man den Verband zweimal täglich und spüle gleichzeitig die Wunde mit reinem Wasser ab. In späteren Stadien, wenn die Empfindlichkeit geringer geworden ist, kann das Jodoformgitter auch ohne Zinksalbenmull, also trocken, benutzt werden. Bilden sich speckige Beläge auf den Wunden, die hartnäckig haften,

---

[1]) Schwanenapotheke Hamburg, Stephansplatz.

dann kann man dieselben durch Einpudern mit Naphtalinzucker entfernen (schmerzhaft). Auch bei scheinbar guter Überhäutung ist andauernde Schmerzhaftigkeit ein Zeichen nicht vollendeter Heilung, es bilden sich bald wieder Risse, Löcher usw. Heilen die Phalangen auch nach mehrmaliger Auskratzung nicht und haben auch mehrfache Transplantationen nach Thiersch keinen Erfolg, so warte man nicht zu lange mit der Amputation oder Exartikulation des kranken Gliedes. Sehr quälend sind Ulcerationen der verhornten Partien unter dem Nagel. Sie secernieren ein übelriechendes Secret und heilen sehr selten spontan. Die beste Therapie besteht in Entfernung des Nagels und nachfolgender tiefer Auskratzung des verhornten Gebietes. Die operierten und verbundenen Finger müssen beim Händewaschen durch übergezogene Gummifinger vor Feuchtigkeit geschützt werden.

Infolge der großen Verbreitung welche die Röntgendermatitis unter den Röntgenologen hat, sind außerordentlich zahlreiche therapeutische Vorschläge gemacht worden. Je nach dem Grade der gesetzten Veränderungen und der persönlichen Individualität hilft dem einen ein Mittel, das bei dem anderen vollständig versagt.

Unna hat sich das große Verdienst erworben, die Therapie der Röntgendermatitis auf Grund der Äußerungen verschiedener geschädigter Ärzte praktisch erprobt und literarisch verarbeitet zu haben. Da ich Unna bei seinen Untersuchungen als Versuchsobjekt gedient habe, so kann ich die Güte seiner Therapie, wenigstens für manche Affektionen, aus eigener Erfahrung bestätigen und glaube daher im Interesse geschädigter Kollegen zu handeln, wenn ich im folgenden den therapeutischen Teil der Unnaschen Arbeit unverkürzt und wörtlich bringe.

Therapie nach Unna.

Therapie nach Unna

Die X-Dermatitis gehört zu den Affektionen, bei denen die Prophylaxis alles, die Therapie bisher nichts ist. Seitdem ihr Wesen richtig erkannt und die X-Strahlen selber als Ursache allseitig betrachtet werden, kann man diese Affektion wenigstens mit Sicherheit, wenn man sich die nötige Mühe gibt, in Zukunft vermeiden. Die schweren älteren Fälle, die alle noch aus der ersten sorglosen Zeit der Anwendung ohne Schutzmaßregeln stammen, werden immer seltener sich wiederholen und leichteren Formen der Erkrankung Platz machen. Spielt dieselbe doch nur deshalb heute noch eine so große Rolle, weil die X-Strahlen eine ganz besonders heimtückische Kumulativwirkung ausüben, wodurch die einmal eingeleiteten Veränderungen eine viel längere Zeit progressiv verlaufen, als wie die Schädlichkeit einwirkte: Darüber, daß Ferien und Pausen in der Tätigkeit stets und besonders im Anfange außerordentlich günstig wirken, daß die Enthaltung von allen Manipulationen in der Nähe der Röhre und des Schirmes, die Abhaltung vagabundierender Sekundärstrahlen, die Bedeckung der Hände mit Metallfolie

enthaltenden Handschuhen, die Vermeidung des Kontaks mit photographischen Entwicklern und Desinfizientien regelmäßig die Heilung befördern, sind alle Autoren einig.

Eine ebenso große Einigkeit herrscht aber leider auch in der resignierten Aussage aller, daß eigentliche Heilmittel des einmal eingeleiteten Prozesses bisher nicht existieren. Jeder Beobachter gibt nur ein Mittel oder einige wenige an, welche ihm persönliche Linderung gebracht haben und die Fortschritte der Dermatitis gehemmt haben. Dieselben lassen sich im allgemeinen unter den Begriff der alkalischen Erweichungs- und der Schmiermittel bringen. Sie wirken, wie leicht verständlich, symptomatisch günstig auf die äußeren Hautschichten und daher im hohen Grade lindernd, doch nichts weiter. Zu den ersteren gehören vor allem warme Waschungen und Handbäder.

K. empfiehlt nach dem Waschen Einreiben mit $^1/_2{}^0/_0$ Kalilösung und Glyzerin: I. einfach: Nachts Vaseline; L.: Glyzerinsalben und Einpackung in Strümpfe; W. nach der Abseifung: Lanolin 80 plus Öl 20. A.: Nach dem Waschen Einreiben der Hände mit Bienenwachs-Olivenölmischung von Salbenkonsistenz.

Vor allen eintrocknenden und reduzierenden, keratoplastisch wirkenden Mitteln einschließlich Zinkoxyd und Ichthyol wird gewarnt. Hiergegen spricht es nicht, wenn Sc. großen Nutzen von wässerigen Ichthyol-Dunstumschlägen und der Applikation des Zinkichthyol-Salbenmulls erfahren hat. Denn diese Behandlung war zunächst gegen die komplizierenden Eiterinfektionen und Lymphangitis (mit Lymphadenitis und Fieber) sowie gegen die fast beständig konkurrierenden und schon vor der X-Dermatitis aufgetretenen Ekzeme der Hände gerichtet. Gegen die X-Dermatitis, die nach Beseitigung der Streptokokkeninfektionen und Ekzeme übrig blieb, helfen die Ichthyol-Dunstumschläge und der Zinkichthyol-Salbenmull nicht mehr viel. Sie sind dann nur als allerdings praktisch bewährte Linderungsmittel zu betrachten, die durch ihren Ichthyolgehalt schmerzstillend und als Impermeabilien erweichend wirken.

W. verwirft auch alle Salben und selbst Priessnitzsche Umschläge, außer solchen mit einer Lösung von Argent. nitricum ($^1/_3{}^0/_0$), rühmt aber als Bedeckung das deutsche Heftpflaster, das „vielleicht wegen seines Metallgehaltes" als Schutz günstig wirkt. O. warnt speziell vor dem Gebrauch von Pflastern und Schälpasten. Auch von Ungt. Hebrae mit Salicylzusatz unter Gummihandschuhen hat K. keinen Erfolg gesehen.

Eine sehr große Versuchsreihe verdanken wir Kollegen S., der sich damit ein wirkliches Verdienst in bezug auf die Therapie der X-Dermatitis erworben hat. Da seine Mitteilungen sich nicht gut im Auszuge wiedergeben lassen, so mögen dieselben, unwesentlich verkürzt, hier folgen:

„Im Laufe der Jahre wurde alles versucht, was nur passend schien. Im allgemeinen steht folgendes fest: kein einziges Mittel hat auf längere Zeit hinaus eine heilende Wirkung entfaltet, vielmehr wirkten alle von einem Zeitpunkte an reizend, nachdem sie zuvor gut erschienen; ausgenommen gewisse Salben!

Durch die Beobachtung, daß der photographische Entwickler stets und unter allen Umständen eine rapide Verschlimmerung der Dermatitis nach sich zog, so daß schon an dem Tage, wo Platten entwickelt wurden, spätestens am folgenden eine heftige Reizung und Entzündung eintrat, schien ein Fingerzeig gegeben, daß alle reduzierend wirkenden Mittel nicht am Platze seien.

Experimentell wurde die schädliche Wirkung erprobt in bezug auf:

Streupulver im allgemeinen, abgesehen von amylumhaltigen bei Komplikation mit nässendem Ekzem.

Äther, Alkohol, Säuren, Phenole, Sublimat.

Kälte und kalte Flüssigkeiten, abgesehen vom Stadium hoher entzündlicher Reizungen, wo vorübergehend, etwa 1—2 Tage derartige Kompressen entschieden lindernd wirkten.

Von Medikamenten und Chemikalien sind zu nennen:

Alle Entwickler, vor allem der Glycinentwickler, dann aber auch das gewöhnliche Fixierbad mit Natrium subsulfurosum (Fixiersalz).

Wenig schädlich wirkte dagegen eine $2^0/_0$-Lösung von Sublimat mit Kalium bromatum, wie sie zum Verstärken verwendet wird, im Gegensatze zum Sublimat, wie es als Desinfiziens im Gebrauche ist.

Praktisch macht sich diese Tatsache dadurch geltend, daß im Gegensatze zum Entwickeln und Fixieren die Verstärkungsarbeit mit genannter Lösung keine Verschlimmerung der Dermatitis brachte.

Dabei wurde bei allen photographischen Arbeiten abwechselnd der Einfluß des Händewaschens mit kaltem oder warmem Wasser erprobt und als völlig gleichgültig in bezug auf Vermeidung einer Verschlimmerung befunden.

Argentum nitricum schwärzte die im Absterben begriffenen Stellen der Ulcera ungleich heftiger, so daß trotz sofortiger Waschung der Hände diese Stellen schwarz wurden, nicht aber die danebenliegenden, ebenso damit verunreinigten Partien.

Auch die in der Färbetechnik gangbaren Anilinfarben hafteten an diesen Stellen fester.

Von Medikamenten erschienen schädlich alle reduzierenden, z. B. Ichthyol und das Hg. aus ungt. hydr. cin.

Diese auf Grund der in der photographischen Technik gemachten Beobachtungen sich aufdrängende Tatsache wurde einwandsfrei erwiesen durch folgende Beobachtung.

Infolge Ritzens der spröden Haut der zweiten Phalange des Daumen r. H. an einem Nagel entwickelte sich ein Erysipel des Daumens.

Ich bin sonst zu solchen Infektionen nicht disponiert und nur ein einziges Mal, trotz jahrelanger bakteriologischer Arbeit und Operationen infiziert gewesen.

U. a. kam in der Folge eine Ichthyol enthaltende Salbe in Anwendung. So oft dieselbe sich vom Daumenballen her unter dem Verbande auf die Dorsa manus verstrich, trat unter „heißem“ Schmerz eine sehr heftige Reizung auf, so daß ich beim ersten Male der Meinung war, das Erysipel habe sich dahin verbreitet; in der Folge aber war einwandsfrei nachzuweisen, daß es nur die Ichthyolsalbe und nicht das Erysipel war, was die Rötung und Schwellung veranlaßte. Ungeeignet erwies sich ferner das acid. salicyl., wie ich feststellen konnte, wenn ich eine meinerseits oft gebrauchte Salbe bzw. ein Liniment bei Patienten einrieb und mir damit die Hände beschmutzte.

Gut und reizmildernd haben sich bewährt:

Warme Handbäder mit ätherischen Zusätzen. So die gewöhnlichen Chamillen-Infuse, möglichst warm angewendet.

Bei Bekämpfung des besagten Erysipels, das eine Lymphangoitis des Armes hervorgerufen hatte, mittels Armbädern besserten sich die Ulcera der rechten Hand im Laufe einer Woche so auffallend, wie niemals zuvor.

Selbst nach heißen Vollbädern erschien die Hand weniger gereizt und weniger gerötet.

Kam im obigen Falle das eingeriebene Ungt. hydr. cin. durch Verschieben vom Handgelenke her auf die Hand und in den Bereich der Ulcera, dann entstand ein solch unerträglicher Schmerz, daß sofort ein Handbad angewendet werden mußte, das bald Ruhe schaffte.

Kompressen mit Arnika und Acet. plumb. bas. sol. in entsprechender Verdünnung und warm, taten ebenfals gute Dienste.

Zusätze von Acid. boricum schienen ratsam, ebenso von Zinc. sulf.

Dagegen Cave „Burowsche Lösung!!“

Dermatol in ganz geringen Mengen in Salben erwies sich als gut, wie unten gezeigt werden wird; schmerzsteigernd wirkte dagegen die Bardelebensche Brandbinde, d. h. trocknes Pulver, in diesem Falle das Bismuth.

Meine Taktik war hier, wie bei anderen Reizungen durch die X-Strahlen, die rein symptomatische Behandlung, in schonendster Weise!

Gegen frische Entzündungen stubenwarme Kompressen, dann Salbenverbände mit Lanolin als Grundlage, die Salben von sehr weicher Konsistenz, daß sie unter den mittels feiner Mulle hergestellten Verbänden ganz zerflossen.

Bei Komplikationen mit nässenden Affektionen nur vorübergehend Streupulver mit Talcum, Lycopod, Amylum, etwas Dermatol, oder noch besser nur einen höheren Zusatz von Dermatol zur Salbe.

Treten harte Schwielen auf, dann Handbäder mit Arnikaabkochungen, sehr heiß! Diese auch, wenn ein Stadium der Atonie eingetreten ist. Dann bessern sich die Stellen schon nach 1—2 Tagen, die Haut verliert an Sprödigkeit.

Von Salben hat sich mir folgende gut bewährt:

R. Ungt. Diachyl. Hebrae	30,0
Fiat cum	
Sol Zinc. sulf.	0,3 : 20,0
Acet. plub b. s.	1,0
Dermatol	1,0 ev. 2% Acid. borici.
Adip. Lan. Linimentum ad	100,0

N. S. Auf feines Leinen aufgestrichen auflegen.

Von den gangbaren Crèmes milderte tagsüber etwa eintretende subjektive Beschwerden, ferner die Sprödigkeit:

Kalodermin, oder Lanolincrème.

Augenblickliche geringe Reizung, dann aber Abheilung erzeugte das Bergmannsche „Aseptin“, so daß bei schonender allabendlicher Einreibung im Laufe einer Woche, trotz Einflusses von Winterkälte eine sichtliche Besserung, bestehend in Verblassen der roten Punkte, sich einstellte.

Gegen die auf Gefäßektasien beruhenden Rötungen habe ich auch Faradisation mit einer Metallplatte — trockene Faradisation — mit gutem Erfolge symptomatisch angewendet. Die Hand sieht nach der Behandlung allerdings geradezu erschreckend aus, bessert sich aber schon nach Stunden. Im ersten Augenblicke treten die harten Stellen, wohl auch infolge der mechanischen Reizung, sehr hervor. Es wird dann die Hand mit einer Lösung von:

Natr. caust. 0,3:250,0 abgewaschen, was subjektiv und objektiv gut bekommt. Dann folgt ein Salbenverband, abends ein Handbad. Mit letztgenannter Therapie konnte ich meine linke Hand wie gesagt, völlig heilen.

Schließlich wäre zu erwähnen, daß auch eine große Anzahl von gewöhnlichen und medizinischen Seifen in Verwendung kam.

Im allgemeinen wirkten überfettete Seifen am besten; um so mehr erstaunlich war es, daß eine gewöhnliche Ochsengallseife, soweit das Konstituens „Seife“ in Betracht kommt, einen ganz ausgesprochen günstigen Einfluß auf die Abheilung der Dermatitis zeigte; dies aber nur dann, wenn etwa eine Woche hindurch die Hände täglich ein- bis zweimal eingeseift und die Seife 10—15 Minuten als Schaum aufgetragen blieb. Die Rötung verblaßte, die schwieligen Massen verringerten sich, die ganze Haut wurde geglättet und zarter. Aber schon im Laufe der zweiten Woche zeigte sich ein Sprödewerden der Haut, eine Neigung zum Schuppenbilden, Aufspringen und ein deutlicher Rückgang des zuvor guten Erfolges.

Im Vereine mit täglichem Einfetten mitttels Lanolin aber blieb die letzterwähnte Verschlimmerung aus, so daß ich glaube, die Ochsengalle einen gewissen günstigen Einfluß auf die Röntgendermatitis zuschreiben zu können. Die Verbindung derselben mit einer an sich überfetteten Seife dürfte eine günstige Gesamtwirkung erzielen.“

Meine eigenen Erfahrungen möchte ich, da sie sich großenteils mit denen des Kollegen S. decken, an diese anschließen. Schon lange, ehe mir dieselbe zugängig gemacht wurden, war ich auf Grund klinischer Beobachtungen zu demselben Schlusse gelangt, daß bei der Therapie der X-Dermatitis reduzierende Mittel durchaus zu vermeiden seien. Aus diesem Satze zog ich die Konsequenz, daß man positive Resultate vielleicht mit oxydierenden Mitteln erreichen würde, und gestaltete in den letzten beiden Fällen, die ich zu behandeln hatte, die Therapie in dieser Richtung mit bemerkenswertem Erfolge aus. Der eine dieser Fälle betraf den Röntgentechniker B., dem wegen Carcinom der rechte Arm amputiert war. In der seither verflossenen Zeit hatte sich der Zustand der Haut, obwohl der Patient privatisierte und nie mehr mit X-Strahlen in Berührung gekommen war, unter den verschiedensten Behandlungen nicht merklich gebessert. Bei ihm waren nicht nur die Haut wie gewöhnlich befallen, sondern auch in ebenso hohem Grade das Gesicht, die Ohren, die vordere Seite des Halses, der erhalten gebliebene linke Arm bis zur Mitte des Oberarms und die Mitte der Brust- und Bauchhaut. Alle diese Hautpartien waren scheckig, rot und weiß gesprenkelt, und zwar so, daß die dunkelrote Farbe bei weitem überwog. Je nach der Abhängigkeit der Lage war die Farbe ziegel- bis blaurot. Im Gesicht konkurrierte hiermit noch eine fleckige, unregelmäßig verteilte Pigmentierung, nach Art von dunklen Sommersprossen oder der Pigmentierung des Xeroderma pigmentosum. An den Armen, Brust und Bauch war diese Pigmentierung nicht vorhanden, an dem Handrücken dagegen mäßig ausgebildet. Dieser, sowie das Gesicht zeigte außerdem in hohem Maße die eigentümliche Trockenheit und Härte, eine große Anzahl warziger Hornhügelchen und an den Orten stärkere Bewegung: Rhagaden. Die Nägel waren hochgradig atrophisch Auch die Augen hatten durch die X-Strahlen stark gelitten, worüber wohl noch von anderer Seite berichtet werden wird.

Dieser Status besserte sich, nachdem die in folgendem näher zu erörternde Behandlung eingeschlagen war, im Laufe eines Monats so erheblich, daß der Patient an eine völlige Heilung im Laufe der Zeit zu glauben beginnt. Ähnliche, aber langsamer eintretende Erfolge zeigten sich bei zwei in weit geringerer Ausdehnung geschädigten Kollegen. Ich kann diese Art der

Behandlung daher allen leidenden und mit ihrer bisherigen Behandlung nicht zufriedenen Röntgenologen entschieden zu einem Versuche empfehlen.

Die klinischen Tatsachen, welche darauf hinweisen, daß die X-Strahlen einen ähnlichen Einfluß auf die Haut haben wie die reduzierend wirkenden Medikamente und daher eine Therapie mit oxydierenden Mitteln verlangen, sind schon bei Gelegenheit der Ätiologie der X-Dermatitis erwähnt. Es ist die Analogie mit der schädigenden Wirkung der photographischen Entwickler und der der chemisch wirkenden Lichtstrahlen. Jene führen zur Hyperkeratose, übermäßiger Trockenheit und Blutstauung, diese zur Blutstauung und Hyperpigmentose. Mit dem reduzierend wirkenden Mittel *κατ' ἐξοχήν*, dem Pyrogallol, erzeugen wir Hyperkeratose und übermäßige Trockenheit der Oberhaut, Blutstauung und Ödem der Cutis und mehr oder weniger so mit allen reduzierenden Mitteln in geeigneter Dosis, mit Schwefel, Ichthyol, Resorcin usf. Die Hyperkeratose mit den Begleiterscheinungen der Trockenheit, Elastizitätsmangel und Neigung zur Rhagadenbildung ist das quälendste und oberflächlichste und aus beiden Gründen zunächst in jedem Falle zu beseitigende Symptom. Es hat sich aber herausgestellt, daß mit gründlicher Beseitigung dieses Symptoms auch alle anderen Symptome sich bessern, die Blutstauung, Pigmentierung, das scheckige Aussehen der Haut, die Neigung zu Ulzerationen und zu Blutungen. Daher steht die Beseitigung der Hyperkeratose im Mittelpunkt der ganzen Behandlung, sie ist nicht bloß eine symptomatische, äußerliche, sondern, wie es scheint, ätiologische und daher radikale, tiefgreifende. Es wäre nun einseitig und verfehlt, wenn wir auf dieser theoretischen Basis die Hyperkeratose nur mit oxydierenden Mitteln behandeln würden; denn wir haben zu deren Beseitigung noch die zwei Gruppen der hornerweichenden und schälenden Mittel; eine Vereinigung aller derselben wird uns am raschesten zum Ziele führen.

Die hornerweichenden Mittel zerfallen in vier Gruppen: 1. Wasser, 2. hygroskopische Mittel, 3. Alkalien, 4. Fette. Da jede Verhornung einen Verlust an Gewebswasser zur Voraussetzung hat, so ist Wasserzufuhr eine unbedingte Notwendigkeit in unserem Falle; daher die Hochschätzung der Bäder und vor allem warmer Bäder von Seiten aller X-Patienten. Denn das warme, besser heiße Wasser hat eine ungleich viel stärker aufquellende Wirkung auf Hornzellen und trockenes Eiweiß überhaupt als kaltes Wasser. Außer den heißen Bädern, die natürlich nur hin und wieder einwirken können, kommen als ständig wirkende Aufquellungsmittel sämtliche Impermeabilien in Betracht (Guttaperchapapier, Fettpapier, Billroth-Battist, Valoleum usw.). Die impermeablen Umschläge halten den Hautdunst zurück und es ist daher gar nicht nötig, daß die Haut mit feuchten Umschlägen (Dunstumschlägen) und dann noch mit Impermeabilien bedeckt wird, um eine Aufquellung hervorzubringen. Auch wenn die Haut direkt inpermeabel eingebunden wird oder nach Auftragen von Fettsalben oder nach Auflegen von Salbenmullen (z. B. Bleikarbolsalbenmull), geht eine Aufquellung der Hornschicht mit dem natürlichen Wasserdampf der Haut einher. Auch die ganz trocken aufgelegten Guttaperchapflastermulle haben eine derartige, die Hornschicht aufquellende Wirkung, selbst wenn sie Träger eintrocknender Medikamente (z. B. Zinkoxyd) sind und ihre gute Wirkung ist zum großen Teil auf ihre absolute Impermeabilität zurückzuführen.

Als hygroskopische Mittel, welche, der Hornschicht imbibiert, von außen und innen Wasser anziehen und festhalten, kommen außer dem Glyzerin die hygroskopischen Salze, Kochsalz, Kreuznacher Mutterlauge und

vor allem die Quintessenz der letzteren: das Chlorcalcium, in Betracht. Praktisch werden die Hygroskopica am besten den Salben als Zusätze einverleibt.

Die dritte Gruppe der Alkalien umfaßt die kaustischen Alkalien, die Alkalikarbonate und die Seifen. Die ersteren wirken, wie jeder Mikroskopiker weiß, am besten, wenn sie mit viel Wasser gleichzeitig angewandt werden, also vor Bädern oder als Zusatz zu Bädern; ebenso die milder wirkenden Zusätze von Soda und Pottasche. Ganz hervorragend wirken Seifen, ebenfalls in Form protrahierter Bäder und Umschläge.

Die Fette und Schmiermittel überhaupt (Kohlenwasserstoffe, Fettmischungen aller Art) erhöhen die Elastizät der Hornschicht und verhindern damit die Rhagadenbildung; sie halten analog den Impermeabilien den Hautdunst zurück und erhöhen dadurch den Wassergehalt der Hornschicht, sie ersetzen gleichzeitig den Verlust des fettigen Sekrets der Talgdrüsen und Knäueldrüsen bei der X-Haut und sind aus diesem Grunde geradezu unentbehrlich und durch die anderen hornerweichenden Mittel nicht zu ersetzen.

Die Klasse der oxydierenden Mittel wird durch Wasserstoffsuperoxyd, Natronsuperoxydseife und die Hebrasche Salbe repräsentiert. Die Chlormittel (Sublimat, Chlorzink, Chlorantimon, Aq. chlorata.), obwohl sie auch zu den oxydierenden Substanzen gerechnet werden müssen, wirken selbst zu sehr schädigend auf die Oberhaut, um bei Heilung der X-Dermatitis Verwendung zu finden. Das 30%ige Wasserstoffsuperoxyd (Merck) hat sich gut bewährt zum Ätzen der Warzen und der Hyperkeratose des Nagelbettes interkurrent beim Abnehmen des Verbandes. Die Natronsuperoxydseife (Mielck) in einer durchschnittlichen Stärke von 2—5—10%(!) ist bei starker Hyperkeratose der Hände, besonders auch bei Schwielenbildung zu empfehlen; sie wird zweckmäßig während der Bäder verwandt, indem die Haut mit dem Schaum abgerieben wird, bis Schmerzhaftigkeit eintritt. In der Natronsuperoxydseife haben wir eine sehr wirksame Kombination des Prinzips der Quellung durch freien O_2 und durch Alkalien vor uns, da sie sich mit Wasser sofort in NaHO und O umsetzt ($2\,Na_2O_2 + 2\,H_2O = 4\,NaHO + O_2$). Daß die Hebrasche Salbe im Gegensatz zu den meisten übrigen (reduzierenden) Ekzemsalben eine oxydierende, also hornerweichende Eigenschaft hat, ist jederzeit dadurch zu erweisen, daß sie Chrysarobin zu Chrysophansäure oxydiert.[1]) Es ist daher nicht verwunderlich, wenn Kollege S. gerade die Hebrasche Salbe rühmt. Auch ich habe in allen Fällen dieselbe in Kombination mit anderen Mitteln mit gutem Erfolge angewandt.

Aus der Klasse der schälenden Mittel möchte ich nur die Salizylsäu₂e empfehlen, da bei den sonst noch schälenden Mitteln (z. B. Resorcin) die reduzierenden Nebenwirkungen zu stark sich geltend machen. Sie wirkt sehr gut in Form der überfetteten Salizylseife bei den Bädern und als Salizyl-Cannabis-Pflastermull gegen alle Warzen und Schwielen. Noch potenzierter ist die Wirkung des Arsen-Salizylsäure-Pflastermulls, der auch nur bei sehr harten Warzen zur Verwendung kommt.

Um aus der Reihe dieser Mittel eine praktische Hautpflege zusammenzusetzen, muß man bedenken, daß die fettigen Mittel und Impermeabilien am besten zur Nachtzeit, die Bäder und trocknen Mittel bei Tage und während der Arbeit angewandt werden. Ich würde aber empfehlen, jeden

[1]) S. Unna, Allgemeine Therapie der Hautkrankheiten. Urban u. Schwarzenberg. 1899.

Abend die Hände (und sonst befallenen Hautpartien) mit einem wenigstens ¼ Stunde ausgedehnten, besser ½—¾ Stunde fortgesetzten heißen Handbade zu baden und dabei bei schwacher Keratose mit der überfetteten Salizylseife, bei starker mit der 2—10 %igen Natronsuperoxydseife unter Anwendung eines als Schwamm dienenden Wattebausches ständig zu reiben. Besonders starke Schwielen und Warzen können vorher mit Mercks H_2O_2 geätzt werden. Auf dieses Bad folgt die Abtrocknung und sofortige Einsalbung mit einer der folgenden Salben:

Ung. Hebrae rec. par.	25,0		Ung. Hebrae rec. par.	35,0
Sol. calcii chlorati	10,0	oder	Acidi salicylici	2,5
Glycerini	5,0		Sap. kalini	2,5
Adipis lanae	10,0		Vaselini	10,0

Tritt an den Händen neben der Hyperkeratose Oedem und Empfindlichkeit (Anfangssymptome) in den Vordergrund oder bestehen sekundäre Infektionen mit Ekzem oder Folliculitiden, so kann an Stelle der Hebraschen Salbe eine Applikation des Zinkichthyol-Salbmulles nützlich sein.

Auf alle Fälle ist die nächtliche Einsalbung durch sorgfältige Einpackung mit Impermeabilien zu vervollständigen. Besser und billiger als Gummihandschuhe ist zu diesem Zweck die Einwicklung mit Fettpapier, Guttaperchapapier oder Valoleum derart, daß der Handrücken zugleich mit vier Fingern, der Daumen aber extra bedeckt und mit Mullbinden eingebunden wird, so daß man mit dem Verbande bequem eine Greifbewegung ausführen und grobe Verrichtungen vornehmen kann.

Morgens nach Abnehmen des Verbandes folgt ein kürzeres warmes Bad mit Einschäumung der überfetteten Salizylseife; zum Schluß wird der Seifenschaum nicht abgewaschen, sondern trocken abgewischt, so daß eine Spur des fettigen Seifenvehikels auf der Haut bleibt. Dann muß man sorgfältig auf einen genügenden Schutz der Haut bei Tage Bedacht nehmen. Das einfachste ist ein Bestreichen mit einem Wachssalbenstift von der Formel:

Adipis lan. anhydr.	7,0
Cerae flavae	3,0
M.	

oder das Einfetten mit der während der Nacht gebrauchten Salbe und nachfolgendem trocknem Abwischen, so daß eine Spur des Fettes auf der Hornschicht bleibt. Eine kurative Wirkung wird hierdurch jedoch nicht erzielt. Eine solche kann man relativ einfach erzielen durch Bekleben des Handrückens und der Rücken der Finger mit Zinkoxyd-Pflastermull. Je fester derselbe klebt und je strammer die Haut eingebunden ist, um so weicher und geschmeidiger wird die Haut. Diese Behandlung ist zugleich eine Schutzdecke gegen X-Strahlen, da der an ZnO reiche Pflastermull für dieselben fast undurchgängig ist. Daher ist das Bekleben mit Zinkoxyd-Pflastermull besonders den Röntgenologen anzuraten, welche gezwungen sind, ihre Röntgenarbeiten bei der Kur fortzusetzen. Eine vielleicht noch bessere und für manche angenehmere Schutzdecke liefert das Aufpinseln folgenden Zinkleims:[1])

Cinnabaris	2,0
Bismuthi oxychlorati	30,0
Gelatinae Zinci ad	200,0
M.	

[1]) S. Unna, Schutzdecke gegen X-Strahlen. Monatshefte f. praktische Dermatologie, Bd. 26. 1898, pag. 494.

Wie immer wird die Leimdecke, nachdem sie beinahe angetrocknet ist, mit Watte betupft und dadurch in eine elastische, beim Arbeiten bequeme Zeugdecke verwandelt. Dieselbe löst sich im Wasserbade abends leicht wieder ab. Der Zinkoxyd-Pflastermull wird abgezogen und die Pflasterreste werden vor dem Bade mit einigen Tropfen Benzin auf Watte abgewischt.

Auch für die brüchigen Nägel gibt es bisher wohl keine bessere Behandlung als die feste Bedeckung mit Zinkoxyd-Pflastermull oder mit obigem Metalleim.

Läßt die Beschäftigung noch einen Verbandswechsel während des Tages zu, so ist gelegentlich desselben wieder ein längeres heißes Seifenbad anzuraten. Andrerseits aber ist nichts dagegen einzuwenden, wenn die Schutzdecke des Zinkoxyd-Pflastermulls oder Metalleims statt $^1/_2$ Tag auch $1^1/_2$ Tage sitzen bleibt, so daß nur jeden zweiten Abend die Haut ein heißes Seifenbad bekommt. In dieser Beziehung spielen die äußeren Verhältnisse und das subjektive Empfinden der Haut eine ausschlaggebende Rolle.

Unter dieser Behandlung blassen, wie schon erwähnt, auch die Telangektasien ab; die diffus roten Flecke werden marmoriert, die roten Adern verdünnen sich mehr und mehr und gehen schließlich ganz verloren. Man kann dieselben durch sanftes Aufdrücken — wie andre Kapillarvaricen — mit dem Mikrobrenner einzeln vernichten. Da aber die histologische Untersuchung gelehrt hat, daß diese Gefäßerweiterungen der Oberfläche nur eine Teilerscheinung einer gesamten Stauung im Gefäßbaume der Haut sind, kommt ihre Spezialbehandlung mit dem Mikrobrenner eigentlich nur aus kosmetischen Rücksichten in Betracht.

Anders ist es bei den Ulzerationen. Auch auf diese wirkt die angegebene Allgemeinbehandlung stets günstig ein. Wo aber die Überhäutung zögert, appliziere man stets den Salicyl-Cannabis-Pflastermull einige Zeit, ehe man zur Exzision schreitet; man wird die meisten derartigen Stellen rasch und schmerzlos zur Heilung bringen. Der definitive Schluß geht, wenn unter dem Salyzil-Cannabis-Pflastermull eine Heilungstendenz eingetreten und gute Granulationen entwickelt sind, oft bei offener Behandlung oder unter Zinkoxyd-Pflastermull überraschend schnell von statten.

Auch die Rhagaden, Schwielen und subungualen Hyperkeratosen werden am besten durch Auflegen des Salizyl-Cannabis-Pflastermulls behandelt.

Hoffentlich erweisen sich diese aus einer kleinen Anzahl von Fällen gezogenen Schlüsse auch für die Therapie der Röntgendermatitis im allgemeinen als gültig und tragen dazu bei, das Leben unserer vielgeplagten, röntgenologisch tätigen Kollegen erträglicher zu gestalten."

Aus diesen allem geht hervor, daß der Arzt, welcher mit der Ausübung der Röntgentechnik zu beginnen gedenkt, von vornherein sich derartig schützen muß, daß er überhaupt nicht in die Lage kommt, Hautveränderungen in Form einer Röntgendermatitis zu erleiden. Aber auch der bereits Geschädigte sollte nicht versäumen, noch nachträglich alle zu Gebote stehenden Schutzvorkehrungen zu treffen, um Wiederholungen von Schädigungen schwererer Art vorzubeugen. Es ist nicht zu bestreiten, daß die Haut, welche einmal eine Röntgendermatitis durchgemacht hat, sehr

geneigt ist, auf viel kürzere Bestrahlung von neuem und schwerer zu reagieren.

Nicht weniger als auf den Händeschutz soll unter Berücksichtigung des über allgemeine Schädigungen Gesagten auch auf den Gesamtschutz des Körpers peinliche Sorgfalt verwendet werden. Wie weit dieser Schutz durchgeführt werden muß, ist eine Frage, über welche die Autoren geteilter Meinung sind. Ich stehe auf dem Standpunkt einen absoluten Schutz des ganzen Körpers anzustreben.

Schutzvorkehrungen

Sehr wesentlich ist es, während der Funktion der Röntgenröhre seinen Standort so zu wählen, daß man hinter der Röhre, also nicht im direkten Strahlungsbereich derselben sich befindet. Hierdurch sind schon die direkten Röntgenstrahlen vom Körper abgewendet. Diese Maßregel als genügenden Schutz zu erklären, halte ich nicht für gerechtfertigt, denn es bleiben, wie man sich mittels eines Leuchtschirmes überzeugen kann, noch genügend in der Luft verteilte Sekundärstrahlen übrig, welche auch auf diesem anscheinend sicheren Punkte den Untersucher ereilen. Ich habe in meinem Institut bereits seit Jahren und neuerdings auch im *Krankenhaus St. Georg-Hamburg* eine Schutzvorrichtung eingeführt, welche eine absolute Deckung auch gegen die geringste Bestrahlung gewährt. Schon in der *ersten Auflage der Röntgentechnik* wies ich darauf hin, daß die Konstruktion eines mit Blei gepanzerten Hauses für ängstliche Gemüter jedenfalls die größte Sicherheit bieten würde. Ich selbst benutzte damals nur eine Bleiwand, hinter welche ich, so lange die Röhre funktionierte, trat. Untersuchungen, welche ich inzwischen über die Ausbreitung der Sekundärstrahlen im Raum angestellt habe, belehrten mich indessen dahin, daß eine einfache Schutzwand keineswegs absolute Deckung gewährt.

Glasstrahlung

Diejenigen Strahlen, welche den Leuchtschirm auch dann zum Fluoreszieren bringen, wenn sich dieser hinter der Röntgenröhre befindet, wenn er also von den direkten Strahlen nicht getroffen werden kann, dürften dann ohne Zweifel ihren Ursprung von der Glaswandung der Röhre nehmen, wenn keine Sekundärstrahlen aussendenden Gegenstände sich in ihrer Nähe befinden. Diese rückwärtige Strahlung ist bedeutender, als man im allgemeinen annimmt. Ich habe an verschiedenen Plätzen des Untersuchungszimmers photographische Platten, die sich sämtlich hinter der Röhre befanden, aufgehängt. Auch in einem Nebenzimmer, welches von dem Untersuchungsraum durch eine Wand getrennt war, wurden Kassetten angebracht. Sämtliche Platten zeigten nach kurzer Zeit Belichtungsspuren. Es war also klar, daß die rückwärtige Strahlung sich durch den ganzen Untersuchungsraum und sogar

durch die Wand fortgepflanzt hatte. Treffen diese Strahlen auf Gegenstände innerhalb des Zimmers, so werden von ihnen wieder Sekundärstrahlen ausgehen, welche ihrerseits unter Umständen auch hinter eine Bleiwand, welche zwischen der Röhre und dem Untersucher steht, gelangen können. Ob diese Sekundärstrahlen imstande sind, Schädigungen an der Haut oder den inneren Organen hervorzurufen, muß wegen mangelnder Erfahrungen unentschieden bleiben.

Schädigungen durch Sekundärstrahlen

Mir ist der Fall eines Fabrikanten bekannt, der Hitzegefühl und Unbehagen an den Händen verspürt, wenn er den Raum, in welchem eine Röhre arbeitet, betritt.

Meines Erachtens sollte ein Arzt, der täglich mit Röntgenstrahlen arbeitet, die jedenfalls im Bereich der Möglichkeit liegende Schädigung lieber vorbeugend vermeiden. Ich habe Meerschweinchen monatelang während der regulären Röntgenarbeiten auf 1,50 m Distanz den sekundären Glasstrahlen ausgesetzt, wodurch indessen die durch direkte Bestrahlung hervorgerufenen bekannten Testikel-Ovarienschädigungen nicht zustande kamen. Um der sekundären Bestrahlung vorzubeugen, habe ich statt einer Bleiwand ein geschlossenes Bleigehäuse in Gebrauch genommen, welches so konstruiert ist, daß von keiner Seite Strahlen in dasselbe hineindringen können. Das Schutzhaus ist leicht auseinanderzunehmen und zusammenzusetzen, so daß auch größere Transporte bei Umzügen oder dergl., sowie Versendung per Bahn usw. ohne Schwierigkeit möglich sind. Photographische Platten, welche wochenlang in diesem Schutzraum gehangen hatten, zeigten nicht die geringste Belichtung. Auf Fig. 134 ist die Vorderwand des Bleigehäuses sichtbar. Innerhalb desselben befindet sich der Rheostat, sowie der Standpunkt des Untersuchers. Die Röhre dreht ihre Rückseite, wie ersichtlich, der Schutzwand zu, so daß diese also nur von der rückwärtigen Glasstrahlung getroffen werden kann. In der Schutzwand befindet sich bei *f* ein kleines, in Augenhöhe angebrachtes Bleiglasfenster, welches eine bequeme Beobachtung der Röhre, sowie des ganzen Untersuchungstisches ermöglicht. Zwischen dem letzteren und der Wand ist ca. ein Meter Raum gelassen, so daß man bequem den Patienten lagern, die Kassette unterschieben und die Röhre auf die Blende setzen kann. Ist die ganze Einstellung vollendet, so tritt der Untersucher in das Bleigehäuse und schaltet ein. Eine derartige Anordnung schließt es indessen aus, daß man die Qualität der Röhren während des Ganges kontrollieren und eventuell mittels der Reguliervorrichtung verändern kann. Um diesem Übelstand abzuhelfen, habe ich zunächst versuchsweise die Waltersche Härtelskala (*g*) derart in den Schutzschirm eingelassen, daß sich das Rohr, durch welches man die aufleuchtenden Felder beobachtet, im Innern des Schutz-

Schutzhaus

gehäuses befindet. Ich ging hierbei von der Voraussetzung aus, daß die sekundäre Glasstrahlung kräftig genug sein würde, um die Härteskala zu durchdringen und die einzelnen Felder zum Aufleuchten zu bringen. Da, wie aus den Arbeiten von Walter bekannt ist, die Glasstrahlen fast genau die gleiche Härte wie die direkten Strahlen haben, so war anzunehmen, daß man eine Röhre ebensogut nach der Glasstrahlung, wie nach der direkten Strahlung beurteilen könne. Meine Vermutung bestätigte sich vollkommen. Während

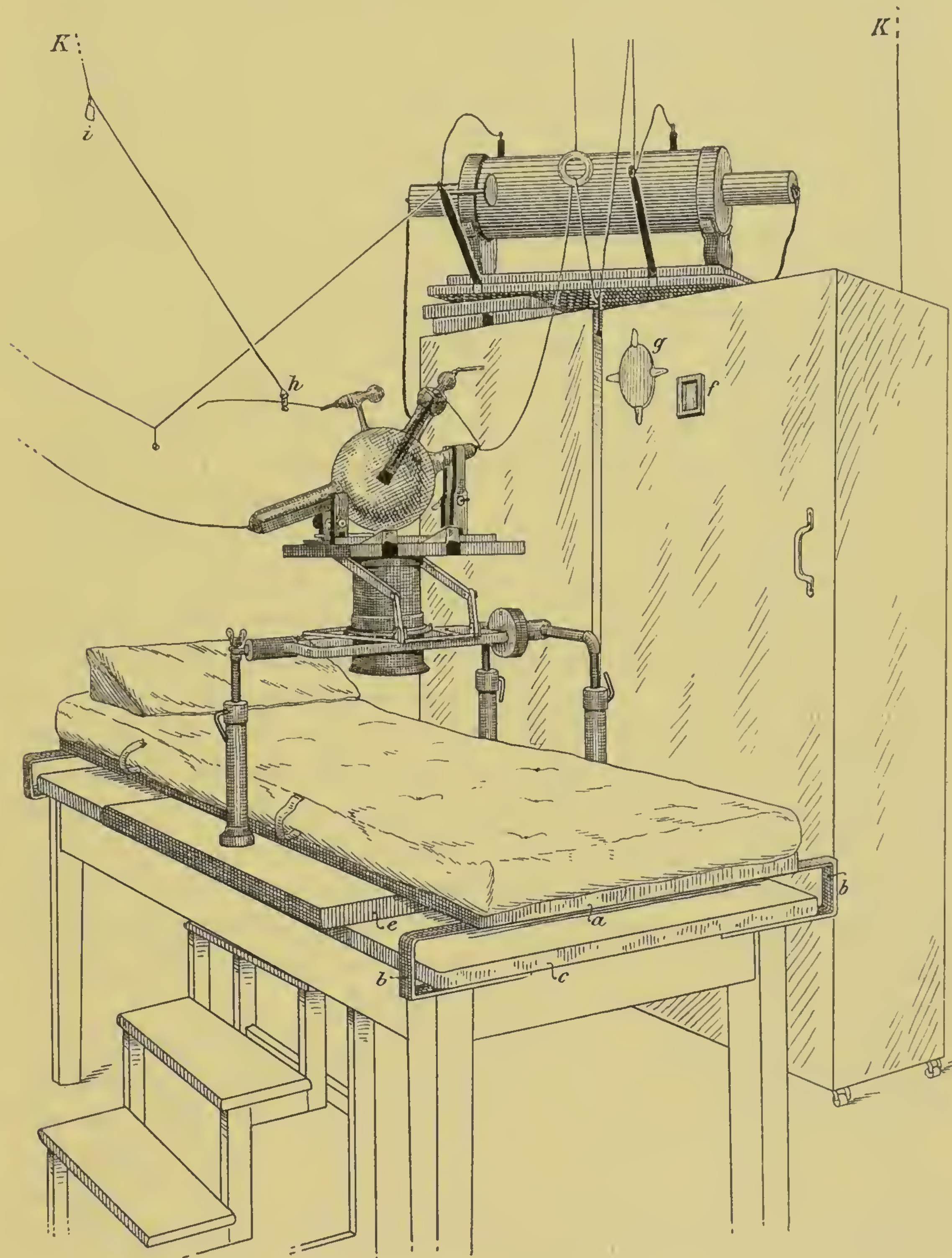


Fig. 134.

man z. B. den Härtegrad für Beckenaufnahmen bei direkter Annäherung der Härteskala an die Röhrenwand auf 6—7 Löcher bemißt, konstatierte ich bei Messung derselben Röhre durch die Sekundärstrahlen eine Härte von vier Löchern. Daß weniger Löcher aufleuchten, erklärt sich einfach dadurch, daß der Abstand der Härteskala von der Röhrenwand 1,50 m beträgt. Nachdem ich kurze Zeit mit dieser Anordnung gearbeitet hatte, stellte sich heraus, daß man auch mit 4—5 Löchern vollkommen auskommen kann. So ergaben sich für eine Beckenröhre bei der Distanzmessung der Glasstrahlen vier, bei einer guten Extremitätenröhre drei und bei einer weichen Handröhre 1—2 Löcher. Läßt eine Röhre überhaupt kein Loch aufleuchten, so dürfte sie sehr weich und nur für ganz besonders zarte Extremitätenaufnahmen von Kindern geeignet sein. Wesentlich verfeinert wird die Ablesung des Härtegrades, wenn man die von mir für Distanzmessungen modifizierte Walterskala mit acht Feldern benutzt (cf. Seite 98).

Härtemessung der Glasstrahlen auf Distanz

Befindet man sich im Innern des Gehäuses, so fehlt, wenn man das eine Bleiglasfenster mit der Hand verdeckt, jegliche Beleuchtung, so daß der Untersucher nicht vom Fluoreszenzlicht der Röhre geblendet wird. Die Retina des in vollständiger Dunkelheit stehenden Arztes erlangt eine außerordentliche Empfindlichkeit und ist imstande, die feinsten Helligkeitsabstufungen der Härteskala wahrzunehmen, namentlich dann, wenn man nach dem Vorschlage von Cowl den Blick hin- und herschweifen läßt und dadurch mit seitlichen Teilen der Netzhaut beobachtet. Man kann die Qualität der Röhre auf das genaueste nach dem Verhalten der Härteskala beurteilen. Ein Weicherwerden kündigt sich beispielsweise durch langsames Verblassen eines der Felder an, beim Härterwerden tritt ganz allmählich ein weiteres Feld hervor. Erst bei dieser Art der Beobachtung ist mir die Feinheit der Messung mittels Härteskala klar geworden.

Die neuerdings in den Handel gebrachten Schutzhäuser mit großen Bleiglasfenstern sind unpraktisch, da der Untersucher nicht völlig im Dunkeln steht, und so der Möglichkeit die Härte auf das subtilste beurteilen zu können verlustig geht. Der Ansicht von Belot, daß die Anwendung eines Schutzhauses einen schlechten Eindruck auf die Klientel machen könne, kann ich nach meinen Erfahrungen nicht beistimmen.

Röhrenregulierung auf Distanz

Um die Regulierung der Röhre vom Schutzgehäuse aus, also auf Entfernung vornehmen zu können, wird an dem Regulierdraht (h) mittels einer Klemmschraube ein Bindfaden (k), der durch einige an der Decke angebrachte Ringe in das Innere des Schutzkastens geführt ist, befestigt. Wird der Faden nachgelassen, so sinkt in-

folge der Schwere der Klemmschraube der Regulierdraht nach unten und der Funkenüberschlag findet statt. Die Röhre wird nun in der üblichen Weise auf den gewünschten Härtegrad gebracht, und nachdem dieser erreicht ist, der Regulierdraht mittels der Fadenleitung wieder in die Höhe gezogen. Um den Widerstand, welchen der Faden auf seinem Wege zum Gehäuse durch Reibung findet, auszugleichen, ist bei (*i*) ein kleines Bleigewicht angehängt. Diese Einrichtung der Röhrenprüfung und Röhrenregulierung zum Schutze für den Arzt hat sich außerordentlich bewährt, und wie ich besonders hervorheben möchte, nicht als schwerfällig herausgestellt. Man gewöhnt sich in allerkürzester Zeit an diese Art der Untersuchung, die besonders, was Röhrenbeurteilung angeht, neben dem absoluten Schutz wesentliche Vorteile gewährt.

Das Gehäuse ist so eingerichtet, daß man nach zwei Seiten arbeiten kann, so daß eine Umstellung der Apparate nicht erforderlich wird. Es muß noch erwähnt werden, daß das Schutzhaus, um eventuellen Funkenüberschlag vom Arzt abzuhalten, mit einer Erdleitung zu versehen ist.

Bei den Durchleuchtungen ist der vollständige Schutz des Untersuchers selbstverständlich schwerer als bei den Aufnahmen zu bewerkstelligen, da man schließlich nicht umhin kann, wenigstens mit dem Oberkörper und dem Gesicht sich in den Bereich der Strahlung zu begeben. Ich habe wiederholt in früherer Zeit, als die Leuchtschirme noch nicht mit Bleiglasplatten belegt waren, nach länger dauernden Untersuchungen Brennen der Gesichtshaut und namentlich am Abend Augenschmerzen leichten Grades verspürt. Es besteht kein Zweifel, daß diese Erscheinungen auf die Bestrahlung des Gesichts zurückzuführen sind, was insofern bemerkenswert ist, als die Strahlen, bevor sie das Gesicht treffen, den ganzen Körper des Patienten bereits durchdrungen haben. Die auf die Haut wirksamen Strahlen bleiben also scheinbar nicht völlig im Patienten stecken. Die Unannehmlichkeit verschwand indessen mit dem Moment, wo ich einen mit Bleiglasplatten belegten Leuchtschirm benutzte.

Bleiglasbedeckung der Leuchtschirme

Wenn der Patient vor dem die Röhre enthaltenden Bleiblendenkasten sitzt, so wird der Arzt bei der Untersuchung vorwiegend nur durch die Strahlen, welche den Körper passiert haben, getroffen. Letztere werden indessen größtenteils durch das auf dem Schirm befindliche Bleiglas abgehalten. Die im Körper des Patienten erzeugten Sekundärstrahlen treffen dagegen den Arzt völlig unbehindert. Um indessen den Körper des Untersuchers wenigstens teilweise zu schützen, bediene ich mich des unten geschilderten

fahrbaren Schutzschirmes. Dieser wird, wie später gezeigt werden wird, aufgestellt und schützt den Unterkörper des Arztes. Der Schutzschirm kann in kleineren Betrieben, wenn man nicht auf absolute Deckung Wert legt, in der auf Seite 284 abgebildeten Form als alleiniges Schutzmittel benutzt werden. Er wird dann so aufgestellt, daß er zwischen der abgewendeten Seite der Röntgenröhre und dem Untersucher steht. Das oben im Schirm angebrachte Bleiglasfenster ermöglicht, ohne daß man hinter dieser Wand hervorzutreten braucht, die fortgesetzte Beobachtung der Röhre. Die Wand, welche auf Rollen leicht beweglich ist, kann man, je nachdem die Röhre eingestellt ist, an verschiedenen Punkten des Laboratoriums auffahren. Gegen die Strahlung einer weichen Röhre, welche wenig Sekundärstrahlen aussendet, genügt dieser Schutz wohl vollständig.

Fahrbare Schutzwand

Eine neue, bei Durchleuchtungen fast absoluten Schutz gebende Vorrichtung ist gelegentlich der Beschreibung des Universaluntersuchungsstuhls (cf. Seite 252) gegeben worden.

Hand als Testobjekt

Die Hände als Testobjekt zu benutzen, ist völlig zu verwerfen, und vollkommen unnötig, da man Strahlungsmeßapparate der vorzüglichsten Qualität besitzt und bei einiger Übung eine Röhre nach dem bloßen Anblick schon genügend beurteilen kann. Die Farbe, ihre Teilung, der Grad der benutzten Selbstinduktion, sowie das Geräusch, welches beim Betrieb entsteht, und anderes mehr genügen für den geübten Untersucher, um sich über die Qualität klar zu werden. Für den Anfänger indessen, welcher der menschlichen Knochen nicht glaubt entraten zu können, sind Skeletthände mit künstlich gemachten Weichteilen als Härtemsser in den Handel gebracht worden. Zurzeit haben die neueren vorzüglichen Härteskalen nach Walter und Benoist-Walter und Wehnelt (cf. Kapitel 3) diese Art der Messung überflüssig gemacht.

Die Volarfläche der Hand darf ebensowenig wie der Handrücken den Strahlen ausgesetzt werden, denn die Schädigungen an der Vola dürften noch wesentlich störender sein, als die auf dem Handrücken entstehenden. Es kann daher nicht genug davor gewarnt werden, überhaupt die Hand mit den Strahlen irgendwie in Kontakt zu bringen. Unvermeidlich scheint es nur dann, wenn es sich um Zahnaufnahmen handelt, da wir gezwungen sind, wenn wir nicht Filmhalter (s. unter Zahnuntersuchungen) benutzen, den Film am Gaumen festzuhalten. Aber auch dieses kann man vermeiden, indem man hierzu den Patienten selbst oder den eventuell assistierenden Zahnarzt auffordert, der nicht geschädigt wird, da es sich bei ihm ja nur um eine ausnahms-

weise Bestrahlung handelt. Schließlich dauert die Exposition bei Zahnaufnahmen nur wenige Sekunden, so daß also hiervon nichts für die Haut zu befürchten ist.

Da es sich nicht immer vermeiden lassen wird, bei Durchleuchtungen die den Schirm haltenden Hände den Strahlen auszusetzen, es sei denn, daß man in der im Kapitel „Durchleuchtung" beschriebenen Weise verfährt, sind undurchlässige Schutzhandschuhe zu empfehlen. Die Firma Kohl in Chemnitz liefert solche. Sie bestehen aus zwei übereinandergezogenen Lederhandschuhen, von denen der untere mit einer zähen Masse überzogen ist, welche ebenso undurchlässig wie $^1/_4$ mm dickes Bleiblech ist.

Schutz-Handschuhe und -Schürzen

Für Ärzte, welche die Schutzvorrichtungen aus räumlichen oder anderen Gründen nicht in der vorbeschriebenen Art durchführen können, sind Schutzhauben aus demselben Stoffe wie die Handschuhe konstruiert, sie bedecken Kopf, Stirn und Bart. Sehr zweckmäßig, namentlich bei orthoröntgenographischen Arbeiten, sind die Schutzschürzen. Sie bestehen aus undurchlässigem Antixstoff und bedecken Hals, Schultern und die ganze Vorderseite des Körpers bis hinab zu den Knien. Die Schürzen werden kreuzweise durch Riemen auf dem Rücken gehalten, sind aber leider sehr schwer.

Die Belegung, der Leuchtschirme mit undurchlässigem Bleiglas ist wohl allgemein im Laufe der letzten Jahre durchgeführt worden. Die Herstellung dieses Glases hat lange Zeit große Schwierigkeiten bereitet, da die Schmelzungen wegen des hohen Gehaltes an Metalloxyden und schweren Erden schwer zu bewerkstelligen waren. Für Leuchtschirme, Glasfenster, Brillen usw. wird allgemein das Gundelachsche Glas gebraucht, welches, wenn es auch nicht vollständig undurchlässig ist, doch genügenden Schutz gewährt. Zur Herstellung von Brillen kann auch das, allerdings sehr teure, aber scheinbar absolut undurchlässige Zeißsche Bleiglas benutzt werden. Legt man ein solches Glas auf eine photographische Platte und daneben ein 2 mm starkes Bleistück und bestrahlt, so kann man sich, wenn die Belichtung nur kurze Zeit dauert, davon überzeugen, daß das Bleiglas die Bestrahlung ebensogut abzuhalten imstande ist, wie das Blei selber.

Bleiglas (Fluoreszenz)

Glas und besonders Bleiglas fluoresziert unter Röntgenbelichtung stark. Sobald man sich in den Strahlungsbezirk einer verhüllten Röntgenröhre begibt, hat man eine deutliche Lichtempfindung.

Die Verwendung von Bleiglasbrillen ist bei ungeschütztem Leuchtschirm absolut erforderlich, bei geschütztem nicht überflüssig.

Die Schädigungen durch Verbrennungen der Kranken mit Röntgenstrahlen, von denen in der Literatur eine große Anzahl beschrieben ist, geben Veranlassung, der Frage, welche Schutz-

maßregeln für die Patienten zu ergreifen sind, näher zu treten. Die Bedeutung, welche dieser Angelegenheit zukommt, wird durch verschiedene strafrechtliche und Zivilprozesse illustriert.

Schutz des Patienten

Um in Zukunft die Ärzte vor solchen übeln Eventualitäten zu sichern und zugleich das Publikum nach Möglichkeit vor Verbrennungen zu schützen, habe ich einige Bestimmungen für die röntgenographischen Untersuchungen von Patienten ausgearbeitet deren Befolgen fast sicheren Schutz nach jeder Richtung zu gewähren imstande ist.

Hier ist auch auf die bei Vernachlässigung der Schutzvorkehrungen eintretende Haftbarkeit der Direktoren und Chefärzte von Krankenhäusern und Kliniken ihren Röntgenassistenten und dem übrigen Personal gegenüber hinzuweisen (cf. Seite 297).

Antrag „Bade"

Die wichtigste und schon oft betonte Hauptforderung ist die Befolgung des Grundsatzes, nur sachverständigen Ärzten oder ihren Vertretern und nicht Laien (Fabrikanten) die Anwendung von Röntgenstrahlen am Patienten zu gestatten, eine Forderung, welche der Röntgenkongreß 1905 und der Antrag *„Bade" Röntgenkongreß 1906* befürwortete.

Derjenige Arzt, welcher ungenügend ausgebildete Techniker, niederes Heilpersonal oder dergleichen mit der Vornahme von Röntgenuntersuchungen ohne Beaufsichtigung an Patienten beauftragt, ist haftbar für eventuelle Schädigungen der Kranken.

Der Patient kann bei der Untersuchung mittels Röntgenstrahlen

a) durch die Strahlen selbst,

b) durch Zersplitterung von Röntgenröhren,

c) durch Übergang starker elektrischer Entladungen in den Körper geschädigt werden.

Ad a) Die Röntgenstrahlen können zu Verbrennungen führen, wenn

1) die Belichtungszeit eine zu lange,
2) der Abstand der Röhre ein zu geringer ist,
3) bei richtigem Röhrenabstande und richtiger Expositionszeit die Untersuchungen zu häufig hintereinander vorgenommen werden.

Zulässige maximale Expositionsdauer

Ad 1. Was die Dauer der zulässigen Belichtung angeht, so kann man hierüber sehr präzise Vorschriften geben. Während früher sehr lange exponiert wurde, erlaubt die heutige Technik, vorwiegend durch die Ausbildung des Blendenverfahrens und des sogenannten Momentverfahrens, eine außerordentliche Abkürzung der Belichtungsdauer. Ich halte es für ganz ausgeschlossen, daß man zum Zwecke der Herstellung einer Röntgenplatte von irgend einer beliebigen Skelettpartie des menschlichen Körpers einer längeren

Expositionszeit als höchstens 4 Minuten resp. höchstens 1 Minute bei Benutzung von Momentapparaten bedürfen wird.[1]) Diese Zeit ist sehr hoch gegriffen und wird nur in den allerwenigsten Fällen bei außerordentlich dicken Patienten zur Anwendung kommen. Auch beim Nierensteinnachweis genügen kurze Expositionen, welche die Zeit von 4 Minuten resp. 12 Sekunden (Moment) nicht zu übersteigen brauchen. Ich komme fast für alle Aufnahmen mit der Maximalzeit von 2—3 Minuten aus und glaube, daß bei einiger Übung und bei erstklassigem Instrumentarium dieselbe auch für andere Untersucher unter allen Umständen ausreichen wird. Solche Ärzte, welche im Besitze schwächerer Apparate sind, werden beispielsweise bei Hüftgelenk-, Lendenwirbelsäulen- und Nierensteinaufnahmen bis zu 4 Minuten gehen müssen. Instrumentarien, welche dieses nicht leisten, sind minderwertig und müssen ausgetauscht werden. Die angegebene Zeit zu überschreiten, halte ich nicht für erforderlich. Für den größten Teil aller Röntgenaufnahmen der großen Gelenke, sowie der Röhrenknochen usw. genügen wesentlich kürzere Expositionen, welche zwischen $^1/_2$—$1^1/_2$ Minuten schwanken. Bei Aufnahmen der Zähne beträgt die längste Expositionszeit 15 Sekunden.

Röhrenabstand vom Körper

Ad. 2. Der Abstand der Röntgenröhren von der Körperoberfläche muß ein solcher sein, daß auch bei der maximalen Belichtungsdauer von 4 Minuten eine Verbrennung vollständig ausgeschlossen ist. Die Entfernung, welche sich mir unter allen Umständen bewährt hat, und bei welcher ich bis jetzt noch keine Verbrennungen gesehen habe, beträgt von der Glaswand der Röhre bis zur Oberfläche des Körpers gerechnet ca. 30 cm. Ein näheres Herangehen mit der Röhre an den Patienten ist technisch überflüssig und infolgedessen zu verwerfen. Eine Ausnahme machen die Zahnuntersuchungen, bei denen man sehr weiche Röhren benutzen muß und infolgedessen bis auf 15 cm an das Gesicht herangehen kann, Da die Exposition hier indessen 15 Sekunden nicht überschreitet, so ist bei dieser Entfernung eine Verbrennung nicht zu befürchten.

Ad 3. Da auch bei großer Übung Aufnahmen beim ersten Versuche mißlingen, so kommt der Arzt naturgemäß in die Verlegenheit, die Untersuchung zu wiederholen. Es ist dieses auch statthaft, doch darf derselbe Körperteil am gleichen Tage unter den sub 1 und 2 angegebenen Kautelen nicht mehr als dreimal hintereinander untersucht werden. Das würde eine maximale

[1]) Unter „Moment" verstehe ich im Folgenden stets Aufnahme mit abgekürzter Exposition mittels eines der neuen Momentapparate (Rosenthal, Snook, Siemens & Halske, Reiniger, Gebbert & Schall, Seifert, Grisson, Dessauer u. a.).

Belichtungszeit von 12 Minuten bei 30 cm Abstand bedeuten. Denjenigen, welche glauben, länger exponieren zu müssen, möchte ich indessen den Rat geben, sich mit zwei Untersuchungen am gleichen Tage zu begnügen. Bei Nierensteinaufnahmen, welche nicht immer in einer Sitzung zu erledigen sein werden, ist es zu empfehlen, an mehreren nicht hintereinander liegenden Tagen zu untersuchen und dieselben Fälle pro Tag nicht mehr als zweimal zu exponieren. Wer sicher gehen will, lege einen Kienböckschen Quantimeterstreifen auf die Haut und bestimme die applizierte Oberflächendosis.

Zahl der Expositionen pro Tag

Da häufig Patienten, wenn sie zum Arzte zur Vornahme einer Röntgenuntersuchung kommen, bereits von anderer Seite durchleuchtet sind, ist diesbezüglich eine Voranfrage bei den Patienten erforderlich, da man sich zu hüten hat, auf dieselbe Hautpartie, welche vielleicht am Tage vorher bereits längere Zeit bestrahlt worden war, abermals die Röhre zu richten. Solche Patienten dürfen erst dann untersucht werden, wenn die Inkubationszeit der Röntgendermatitis abgelaufen ist. Es sind mir Fälle bekannt, welche infolge einer einmaligen Bestrahlung eine Dermatitis, deren Entstehen rätselhaft zu sein schien, bekamen. Bei näherer Nachforschung stellte sich dann heraus, daß die Kranken bereits von anderer Seite kurz vorher längere Zeit bestrahlt worden waren.

Schutz nicht exponierter Körperteile

Ob bei der Untersuchung eines Körperteiles eine Abschützung der nicht zu bestrahlenden Körperpartien zu verlangen ist, möchte ich einstweilen dahingestellt sein lassen, jedoch wenn irgend ausführbar, empfehlen. Bei dem erwähnten Abstande und Anwendung der Kompressionsblende genügt es, wenn die Röhre auf dem ca. 25 qcm großen Röhrenbrett, welches an seiner Unterseite mit Bleibeschlag versehen ist, montiert wird. Alle im direkten Strahlungsbezirke befindlichen Körperteile sind genügend geschützt. Wendet man keine Blenden an, so ist die Abschützung der nicht zu bestrahlenden Körperteile naturgemäß schwerer auszuführen. Unerläßlich ist ein solcher Schutz indessen, wenn es sich um Untersuchungen des Kopfes oder des Halses handelt, resp. wenn der Kopf sich in der Nähe der Röhre befindet. Eine einmalige Bestrahlung kann unter Umständen zu Haar- und Bartausfall führen. Bei Untersuchungen des behaarten Kopfes sind die Kranken auf diese Möglichkeit hinzuweisen. Bei Nierensteinaufnahmen muß das Gesicht des Patienten geschützt werden, da namentlich bei doppelseitigen Untersuchungen, welche die Vornahme von ca. 5 Aufnahmen bedingen, Erytheme im Gesicht auftreten können. Ich benutze hierzu das in Fig. 119 abgebildete fahrbare Schutzstatif, welches über das Gesicht des Kranken ge-

schoben wird. Ferner sind bei Becken-Übersichtsaufnahmen (Luxatio coxae) von Knaben die Testikel durch ein Bleistück zu bedecken. Untersucht man nur ein Hüftgelenk zurzeit, so kann man durch geeignete Zylindereinstellung die Hoden leicht aus dem Bestrahlungsfeld herausbringen.

Auch die direkten Durchleuchtungen, d. h. die Untersuchungen auf dem Leuchtschirme, sind unter Kautelen vorzunehmen. Die Röhre ist so aufzustellen, daß nur der zu untersuchende Körperteil vom Strahlenkegel getroffen wird. Die übrigen Partien müssen sich nach Möglichkeit außerhalb des Bereiches der direkten Strahlung befinden. Der Abstand des Patienten von der Röhrenwand darf nicht geringer als 20 cm sein und die einmalige Untersuchung ein und derselben Körperpartie sollte eine Zeitdauer von zwei bis drei Minuten nicht überschreiten, es sei denn, daß verschiedene Körperbezirke bestrahlt werden, mithin die bereits bestrahlten sich nicht permanent unter der Einwirkung der Strahlen befinden.

Platzende Röhren

Ad. b. Der Schutz der Augen des Patienten gegen eventuell zerplatzende Röhren ist eine nicht zu unterschätzende Aufgabe, da Verletzungen, namentlich dann, wenn die Augen, wie z. B. bei Kopfuntersuchungen, in der Nähe sind, zu befürchten sein können. Bei der Anwendung geeigneter Bleiblenden, wie oben beschrieben, befindet sich der unter der Blende liegende Patient in Sicherheit. Wendet man keine Blenden an, so ist eine eventuelle Schädigung durch umherfliegende Glaspartikelchen möglich. Ein Schutz gegen Zerbrechen der Röhren ist dann besonders zu verlangen, wenn man mit großen Exemplaren arbeitet (Müllersche Wasserkühlröhren, Gundelachsche Dauerröhren). Je größer die Röhre, um so bedeutender ist die Zerstäubung von Glas. Da die Röhren infolge des Betriebes nicht springen, sondern nur dann, wenn sie unvorsichtig gehandhabt werden, so genügt es vollkommen, während der Einstellung über das Gesicht des Patienten ein Tuch zu decken, um bei etwaigen Röhrenzertrümmerungen die Augen zu schonen. Die übrigen Körperpartien bedürfen gegen das Zerbrechen der Röhre keines besonderen Schutzes, da derselbe schwer ausführbar ist und etwaige Verletzungen der Haut nur unbedeutend sein würden.

Schutz gegen Stromübergang

Ad. c. Gegen unbeabsichtigte Stromübergänge ist der Patient strikte zu schützen. Bei Benutzung der Intensivstrominduktoren und Transformatorapparate ist größte Vorsicht ganz besonders geboten. Wenn auch bis jetzt keine Schädigungen von Patienten und Ärzten bekannt geworden sind, so ist doch nicht daran zu zweifeln, daß solche beim Zusammentreffen unglücklicher Umstände, besonders beim Berühren beider Pole vorkommen können. Nament-

lich bei Untersuchungen von Kindern müssen alle Sicherheitsmaßregeln getroffen werden. Stromübergänge können erfolgen durch Unachtsamkeit bei der Einschaltung der Röhre, indem die Kabel nicht richtig eingehängt werden, durch Durchbrennen oder durch spontane Loslösung eines Kabels von der Röhre. Arbeitet man mit Blenden, namentlich mit der Kompressionsblende, so wird der Strom in die Metallteile der letzteren hineinfahren. Da er aber auch von hier in den Patienten übergehen kann, ist die Blende unter allen Umständen mit einer Erdleitung zu verbinden. Es genügt als solche eine Drahtverbindung mit der Wasser- oder Gasleitung des Hauses.

Arbeiter-Schutz

Von allergrößter Wichtigkeit ist der Schutz der in der Röhrenindustrie beschäftigten Arbeiter. Diese Personen, welche unaufhörlich den Strahlen ausgesetzt sind, erleiden die allerschwersten Verbrennungen. Fast alle Röhrenfabrikanten sind erheblich entstellt, Pigmentierung der Haut, Warzenbildung, Bartlosigkeit, Mangel an Augenwimpern und Augenbrauen gehören zu den gewöhnlichen Anblicken. In schweren Fällen beobachten wir Geschwürsbildungen, Nagelausfall, Linsentrübungen. Es liegt auf der Hand, daß für diese Arbeiter ebensogut Schutzvorrichtungen gefordert werden müssen wie für Personen, welche in anderen gesundheitsgefährlichen Betrieben beschäftigt sind. Es muß die Forderung gestellt werden, daß vor jeder Luftpumpe, mittels welcher die Röhren während des Funktionierens ausgepumpt werden, eine ausreichend große Bleiglasplatte aufgestellt wird. Die letztere muß so groß gewählt werden, daß alle Körperteile des in der Nähe stehenden Arbeiters sich im Schutze befinden. Die Ausgestaltung dieser Maßregel ist den Fabrikanten zu überlassen, da sie sich nach den jeweiligen örtlichen Verhältnissen zu richten hat.

---

13. Kapitel.

Momentaufnahmen und Aufnahmen mit abgekürzter Expositionszeit.

Kurzzeitige Aufnahmen

Der neueste Fortschritt auf dem Gebiete der Röntgentechnik sind die Aufnahmen mit abgekürzter Expositionszeit. Der Wunsch, Momentaufnahmen herzustellen, hat zwar seit Beginn der Röntgenographie existiert. Apparate und Röhren waren aber im Anfang zu schwach, als daß man mit Erfolg an die Lösung des Problems hätte herantreten können. Die ersten Versuche auf dem

Gebiete fallen in das Jahr 1899, als Rieder und Rosenthal unter Zuhilfenahme von Verstärkungsschirmen und solchen Röhren, welche eine höhere Belastung vertrugen als die seither üblichen, Aufnahmen mit wesentlich herabgesetzter Expositionszeit machten. Die Publikationen von Rieder regten Walter und mich ebenfalls zu Versuchen auf dem Gebiet kurzzeitiger Aufnahmen an. Von dem Gedanken ausgehend, daß die Momentaufnahme im wahren Sinne des Wortes eine solche sei, welche mit einem einzigen Induktionsschlag (Funken) gemacht würde, versuchten wir unter Zuhilfenahme hoher Selbstinduktion starke sekundäre Entladungen zu erzielen. Durch schnelles Herausziehen des Stiftes aus dem Quecksilber des Motorunterbrechers wurde ein starker Öffnungsfunken erzeugt. Ließen wir diesen durch eine Röhre von mittelweicher Qualität hindurchschlagen, so konnten wir eine Handaufnahme herstellen, welche die Knochen mit Andeutung von Struktur zeigte. Strukturaufnahmen anderer Körperteile gelangen mit dem Verfahren nicht, wohl dagegen strukturlose Aufnahmen z. B. vom Ellenbogen. Ich habe in früheren Jahren in meinen Röntgenkursen dieses Experiment häufig vorgeführt und auf der Naturforscherversammlung im Jahre 1902 demonstrierten Walter und ich die Versuche an einem Siemens & Halskeschen Induktor von 1 m Funkenlänge. Die Rieder-Rosenthalsche Methode hat im Anfang wenig Anhänger gefunden und erst im Jahre 1905 wurde sie auf Grund einer neuen Publikation derselben Autoren, welche jetzt mit Lumière-Films und doppelten Verstärkungsschirmen etwa $^1/_{10}$ Sekunde exponierten, von verschiedenen Seiten wieder aufgenommen. Einen wesentlichen Aufschwung nahm die Technik, als Rosenthal im Jahre 1907 einen neuen Induktor mit unterteilter primärer und sekundärer Spule baute, welcher gestattete, die Röhren in außerordentlich zweckmäßiger und ihrer Eigenheit entsprechender Weise zu belasten. Gleichzeitig konstruierte er die allgemein bekannten Platin-Iridiumröhren, welche den großen Energiemengen, die sein Induktor zur Verfügung stellte, gewachsen waren. Unter Anwendung hoher Stromstärken konnte er bei 50 cm Fokusabstand in 1—2 Sekunden gut gelungene Thoraxaufnahmen herstellen. Der Rosenthalsche Induktor kann sowohl an 110 wie an 220 Volt, welche letztere Spannung vorzuziehen ist, angeschlossen werden. Hat man ein Drei-Leitersystem, dann trifft man am besten eine Einrichtung, die sowohl die Benutzung von 220 Volt, als auch von 110 Volt gestattet. Die primäre Stromstärke, welche zur Verfügung sein muß, beträgt höchstens 60 Ampère, in der Regel wird man mit 30 Ampère auskommen. Man ist instande bis 50 Milliampère durch die Röhre zu schicken, arbeitet aber im Durchschnitt besser mit Stromstärken von 8 bis

Verfahren Rieder-Rosenthal

Verfahren Walter-Albers-Schönberg

Intensivstrominduktor (Rosenthal)

12 Milliampère. Der Rosenthalsche Apparat wird in Verbindung mit dem Wehnelt-Unterbrecher benutzt. Will man ihn, was durchaus im Bereiche der Möglichkeit liegt, auch für Zeitaufnahmen verwenden, so tut man nach Grashey im Interesse der Röhrenschonung besser, den Simon-Unterbrecher zu benutzen. Über den Röhrenkonsum mit dem Rosenthalschen Instrumentarium läßt sich zurzeit noch nichts Genaues feststellen, hierüber wird man erst später Näheres erfahren. Wie vorzüglich die Leistungen dieses Instrumentariums sind, sieht man aus den 1908 publizierten Aufnahmen von Rieder und Kaestle. Im gleichen Jahre zeigten Köhler, Groedel und Horn, daß man auch ohne Benutzung besonderer Momentapparate mit dem gewöhnlichen Röntgen-Instrumentarium kurzzeitige Aufnahmen machen könne. Man hatte vor der Publikation von Groedel und Horn nicht geglaubt, daß die damaligen Röhren Stromstärken bis zu 50 Milliampère aushalten würden. Ausgehend von der Erfahrungstatsache, daß die Intensität der Röntgenstrahlen proportional der primären Belastung ist, benutzten Groedel und Horn eine primäre Stromstärke von 60 Ampère bei 110—220 Volt. Als Unterbrecher diente ihnen der Wehnelt mit mehreren, gleich langen, gekuppelten Stiften. Die Expositionszeit drückte Groedel auf $^1/_{25}$ Sekunde herab. Als nächster auf dem Gebiete der Moment-Röntgenographie ist Gillmer zu nennen, welcher mit einem gewöhnlichen Induktor und einem nach Groedel unterteilten Wehnelt die kurzzeitigen Aufnahmen in das Gebiet der Chirurgie einführte. Gillmer benutzte Röhren mit dickem Metallklotz. Nachdem die ersten Versuche, kurzzeitige Expositionen zu erzielen, so ausgezeichnete Resultate ergeben hatten, sind sämtliche Fabrikanten mit Intensiv-Strom-Induktoren und anderen dem gleichen Zwecke dienenden Konstruktionen hervorgetreten. Besonders zu erwähnen sind der bekannte Grissonator, ferner die neuesten Versuche von Dessauer. In außerdeutschen Ländern sind ebenfalls zahlreiche Apparate zu ähnlichen Zwecken gebaut worden. Ich nenne die Namen: Klingelfuß, Ropiquet, Rochefort, Gaiffe, Delon. Die Amerikaner, allen voran Leonard, haben sich schon seit längerer Zeit mit diesem Problem beschäftigt. Leonard stellte auf dem Röntgenkongreß 1908 kurzzeitige Aufnahmen des Herzens vor, welche das Organ in der Systole und Diastole deutlich zeigten. Er benutzte den gelegentlich des Amsterdamer Kongresses 1908 demonstrierten Snookschen Apparat, auf dessen Beschreibung im physikalischen Teil zu verweisen ist. Einen dem Snookschen Apparat ähnlichen Transformator stellte die Firma Reiniger, Gebbert & Schall, ebenfalls auf dem Kongreß in Amsterdam 1908, unter dem Namen Idealapparat

Verfahren Köhler, Groedel, Horn

Verfahren Gillmer

Grissonator und Dessauer

Transformator Snook und Reiniger Gebbert & Schall Ideal

aus. Die Vorläufer dieser Typen sind die Apparate von Koch & Sterzel. Ferner haben in Deutschland Siemens & Halske und Seifert & Comp. auf dem gleichen Prinzip beruhende Transformatoren in den Handel gebracht. Ich benutze augenblicklich den Snookschen und den Idealapparat und kann mich über beide sehr zufrieden aussprechen. Betrachten wir nach diesem Rückblick auf die Entwicklung der Momenttechnik die von verschiedenen Forschern auf verschiedenen Wegen erzielten Endresultate, so ergibt sich, daß das Problem der Momentaufnahme, soweit die stromliefernden Apparate in Betracht kommen, in mehrfacher Weise in den letzten Jahren gelöst worden ist. Das Gelingen der Aufnahme hängt jetzt, nachdem man gelernt hat, daß auch von der Erhöhung der Sensibilität der Platten wegen der leicht eintretenden Schleierbildung nicht viel zu erwarten ist, nur noch von der Röhre ab. Für jede Aufnahme, Thorax, Magen oder Extremität, ist ein eng begrenzter, kritischer Härtegrad der Röhre erforderlich. Ist die Röhre um ein weniges zu hart, so wird die Platte verschleiert, ist sie um eine Nuance zu weich, so erhalten wir ein unterexponiertes Bild. Diese geringen Schwankungen des Härtegrades, welche bei der Zeitaufnahme belanglos sind, da man während der Exposition bei zu harter Röhre regulieren, bei zu weicher etwas länger exponieren kann, sind bei jeder Momentaufnahme entscheidend. Da nun jede Röhre permanent, wenn auch nur in geringem Grade, im Gebrauch ihren Härtegrad ändert, so muß man vor Beginn der Momentaufnahme die Qualität kontrollieren und eventuell durch Regulieren die gewünschte Härte herstellen. Leider erhält sich aber der mit Mühe erreichte Härtegrad oft genug nur für Augenblicke, so daß man im Moment des Einschaltens eine ganz andere Röhrenqualität vorfindet, als man erwartet hat. Aus diesen Schwierigkeiten ergibt sich, daß zurzeit nur der sehr Geübte einen guten Prozentsatz gelungener Momentaufnahmen erzielen wird, und daß selbst unsere besten Moment-Röntgenographen ihre nicht unerhebliche Zahl von Fehlaufnahmen haben. Man kann also dem Anfänger nur raten, zunächst Zeitaufnahmen, die heute mit fast absoluter Treffsicherheit hergestellt werden können, gründlich zu studieren und erst nach längerer Übung an die schwierigere Technik der Momentaufnahmen und Aufnahmen mit abgekürzter Expositionszeit heranzutreten.

Transformator Koch u. Sterzel

Transformator Seifert und Siemens & Halske

Ohne die Bedeutung der Momentaufnahmen für die Chirurgie zu unterschätzen, halte ich es für besser, zunächst sich mit der abgekürzten Expositionszeit zu begnügen. Die Qualität der Bilder muß für den Diagnostiker stets die Hauptsache bleiben, in zweiter

Linie kommt erst die Schnelligkeit der Aufnahme in Betracht. In der inneren Medizin liegen die Verhältnisse wesentlich anders, hier hat die Momentaufnahme ihre Domäne und hier hat sie auch bisher ihre größten Erfolge aufzuweisen. Ganz besonders für die Darstellung sich bewegender Organe, wie Lunge, Herz und Magen, ist sie von der allergrößten Bedeutung geworden. Man kann wohl sagen, daß der Hauptfortschritt der letzten Jahre in den glänzenden Darbietungen auf diesem Gebiete besteht. In der Momentaufnahme liegen die Keime künftiger großartiger Entwicklung, namentlich auch in der mit ihr eng zusammenhängenden Röntgenkinematographie.

Technik der Momentaufnahme

Über die Technik der internen Momentaufnahme wird weiter unten zu reden sein. In den nächstfolgenden Kapiteln werde ich stets neben den Expositionszeiten mit den üblichen Apparaten die kurzzeitigen Aufnahmen erwähnen. Zunächst ist zu bemerken, daß man im Vertrauen auf die kurze Exposition niemals die exakte Fixierung der zu untersuchenden Körperteile vernachlässigen darf. Ein durch Bewegung des Kranken unscharf gewordenes Bild bedingt eine Wiederholung, womit der ganze Zeitgewinn der kurzen Exposition wieder verloren geht. Sodann schone man die Röhren auf das äußerste und hüte sich vor zu lange dauernder voller Belastung. Das Antikathodenblech ist oft schneller durchgebrannt als man ausschalten kann. Bei den Iridiumröhren verschiebt sich infolge zu langer Einschaltung nicht selten der Brennpunkt plötzlich von der Iridiumplatte auf den sie tragenden Eisenklotz. Im gleichen Augenblick wird die Röhre durch das zerstäubte Eisen im Innern schwarz und damit unbrauchbar. Je nach den benutzten Apparaten probiert man sich die Maximalbelichtungszeit aus, die wohl im Mittel wenigstens bei Snook und Ideal ca. 3—6 Sekunden beträgt. Bedarf man einer längeren Belichtung, z. B. um ein Schädelstrukturbild zu erhalten ca. 12 Sekunden, so schaltet man nach den ersten 6 Sekunden etwa 5 Sekunden aus und exponiert hierauf die letzten 6 Sekunden. Bei mehreren kurzzeitigen Aufnahmen hintereinander wird die Röhre, um der zu großen Erhitzung der metallenen Kühlkörper vorzubeugen, gewechselt. Unterläßt man dieses, dann kann man im verdunkelten Untersuchungsraum beobachten, wie z. B. bei der Bauerröhre der gesamte Kupferklotz sich in Rotglut befindet. Bei chirurgischen Aufnahmen schalte man nicht die maximale Stromstärke ein, sondern arbeite bei Verwendung von Snook und Ideal mit der mittleren Selbstinduktion. Die Stromstärke genügt vollständig für chirurgische Schnellaufnahmen und konserviert die Röhre. Ich habe unter Beobachtung dieser Vorsichtsmaßregeln monatelang meine sämtlichen

Aufnahmen mit nur 2 Bauerröhren gemacht und konnte bis heute keine Veränderungen am Antikathodenblech, keine übermäßige Violettfärbung oder sonst etwas Nachteiliges an den Röhren bemerken. Vorsicht ist schließlich bei Vornahme der Regulierung dieser Röhren geboten. Hierzu benutze ich einen gewöhnlichen Induktor, den ich bei hoher Selbstinduktion so schwach wie möglich belaste. Schon nach wenigen Unterbrechungen schalte ich aus, und stelle den Härtegrad der Röhre nach Skala und Milliampèremeter fest. Die Überregulierung ist ebenso leicht möglich wie ein Durchschlagen der Röhre an der Reguliervorrichtung. Hat man trotz aller Vorsicht überreguliert, dann läßt man die Röhre wenige Tage lagern und schaltet sie eventuell einigemale am Tage kurz, aber nicht mit voller Stromstärke ein. Sie wird sich, wenigstens in den günstigen Fällen, auf diese Weise wieder erholen. Momentröhren gleichzeitig an den alten Apparaten mit längerer Exposition oder für Durchleuchtungen zu benutzen, ist nicht angebracht und verkürzt ihre Lebensdauer.

Regulierung der Bauer-Momentröhren

Die Anwendung der Intensivstrominduktoren, deren Konstruktion und Eigenschaften im physikalischen Teil beschrieben sind, weicht nicht von derjenigen der gewöhnlichen Induktoren ab. Die Benutzung eines Momentausschalters ist von großem Vorteil, denn das Ausschalten mittels der Hand läßt sich im Sekundenbetriebe nicht exakt ausführen, außerdem kann man nicht Röhre und Sekundenuhr gleichzeitig beobachten. Von großem Nutzen ist die Zwischenschaltung eines Milliampèremeters, denn dieses ersetzt die wegen der Kürze der Zeit nur unvollkommen erreichbare Röhrenkontrolle mittels Härteskala. Man erkennt das allmähliche Härterwerden der Röhre an der Abnahme der Milliampères. Das für die Intensivstrominduktoren gesagte gilt auch für die Wechselstromapparate. Auch hier sollte man nicht auf einen zuverlässig arbeitenden Momentausschalter und auf das Milliampèremeter verzichten. Die Handhabung dieser Apparate bietet keine Schwierigkeiten. Da man meist mit großen sekundären Stromstärken, ca. 30—40 M. A. arbeitet, muß bei der Kabelzuführung mit größter Vorsicht zu Werke gegangen werden. Die Sicherung gegen Abreißen, Durchbrennen oder Aushaken muß absolut zuverlässig sein. Im folgenden wird die Bezeichnung ***K. E. (Kurze Exposition)*** sich auf die Anwendung des Snook'schen oder Idealapparates beziehen.

Moment-ausschalter und Milliampère-meter

Diese kurzen Expositionszeiten werden manchem relativ lang erscheinen. Ich bemerke hierzu, daß es mir bei den chirurgischen Aufnahmen darauf ankommt gute Strukturbilder zu erhalten. Hierzu sind Röhren weicher Qualität, mit denen sich kein Schnelligkeitsrekord aufstellen läßt, erforderlich.

Von den Skelettaufnahmen möchte ich die Brust- und Lendenwirbelsäule bei nicht sehr dünnen Patienten von der kurzzeitigen Aufnahme ausschließen, da die hierfür erforderlichen harten Röhren verschleierte Bilder geben, die mit den Zeitaufnahmen überhaupt nicht konkurrieren können. Ebenso sind die Nierensteinaufnahmen nach der alten Methode mit langer Eposition (2 Minuten im Durchschnitt) zu machen, denn die schwachen Nierenschatten kommen bedeutend besser bei lange dauernder Belichtung heraus. Ich habe ferner einige Fälle selbst bei dünnen Patienten beobachtet, die mit dem Idealapparat infolge leichter Verschleierung negativ waren und bei der Nachuntersuchung mit dem altem Apparat unzweideutige Steinschatten zeigten.

Ich gebe indessen zu, daß in geeigneten Fällen sowohl Wirbelsäulen, als auch Nierensteine mittels kurzzeitiger Aufnahme und mit gut passenden Röhrenhärtegraden tadellos gelingen können. Der Arzt will aber Sicherheit des Verfahrens in allen Fällen und deshalb ist augenblicklich noch die Zeitaufnahme vorzuziehen.

Die übrigen Skelettaufnahmen, besonders auch der Schädel, gelingen bei einiger Übung so ausnahmslos, daß man den neuen Apparaten besonders, wenn sie auch für Zeitaufnahmen und Durchleuchtungen gebaut sind, unbedingt die besten Zukunftsaussichten prophezeien kann.

Auch zur Therapie eignen die Apparate sich hervorragend. Einige von mir in dieser Richtung angestellten Versuche mögen dieses beweisen.

Therapie mit abgekürzter Expositionszeit

Am 3. XI. 08 riet ich in der Sitzung des ärztlichen Vereins in Hamburg gelegentlich der Besprechung des Snookschen Apparates, Versuche mit der Momenttherapie oder der Therapie mit abgekürzter Expositionszeit zu machen. Ich habe die Idee inzwischen experimentell auf der Röntgenstation des *Krankenhauses St. Georg in Hamburg* zusammen mit dem Assistenten der Abteilung Herrn Dr. Quiring weiter verfolgt. Die Krankengeschichten und näheren Details sollen später ausführlich publiziert werden. Zurzeit möge die Mitteilung genügen, daß der große Fortschritt, welcher durch den Bau der Transformatorapparate und Intensivstrominduktoren gemacht worden ist, der Therapie nicht weniger als der Röntgenographie zugute kommt. Die Technik der Sekundenbestrahlung bietet keine Schwierigkeiten. Ich benutze die großen weichen Gundelachröhren, welche dem zu bestrahlenden Krankheitsherde bei genauer Abdeckung aller zu schützenden Partien soweit genähert werden, daß der Fokus-Hautabstand 13 cm, der Röhrenwand-Hautabstand also 3 cm beträgt. Die Röhren werden bei Einschaltung der mittleren Stufe der Selbstinduktion maximal belastet, so daß die sekundäre Belastung zwischen 30 und 40 Milliampère beträgt. Der Härtegrad der Röhre ist ein niedriger. Nach der auf 1,50 m Entfernung abzulesenden Härteskala, etwa 6 W. In sechs Sekunden erhalte ich bei diesem Betriebe im Durchschnitt 2 x (Kienböck), bisweilen etwas weniger. Als Beispiel einer solchen Behandlung möge folgender Fall dienen.

Wilhelm J., 24 Jahre.

Diagnose: Seit Oktober 1908 bestehende Sycosis staphylog. beider Wangen.

Datum der Bestrahlung	Dauer der Bestrahlung	Härtegrad der Röhre	Sekundäre Belastung in Milliampère	Oberflächendosis	Fokus/Haut Abstand in cm	Röhre	Verlauf
21. VII. 09	12″	6—7 W.	36—38	4 x	13	Gundelach	Jede Wange wurde einzeln mit nebenstehender Dosis bestrahlt.
22. VII. 09	12″	6—7 „	30—40	5 x	13	Gundelach	
23. VII. 09	6″	6—7 „	30—34	$2^1/_2$ x	13	Gundelach	
3 Tage	30″	—	—	$11^1/_2$ x	18 Tage Pause		
11. VIII. 09	15″	6—7	47—48	5 x	13	Gundelach	3. VIII. Mässige Reaktion. Rötung. Abschilferung. 9. VIII. Haarausfall. 19. VIII. Noch starke reaktive Rötung. 21. VIII. Rötung noch vorhanden; im übrigen erscheint die Haut vollständig normal. **Geheilt** entlassen. Gesamtbestrahlung: **45 Sekunden** für jede Wange ($16^1/_2$ x).

Der Vorteil der Sekundenbehandlung ist vor allen Dingen darin zu sehen, daß außerordentlich an Zeit gespart wird, sei es, daß man einzelne Dosen wie im obigen Fall, oder die Gesamtdosis auf einmal verabfolgt. Der Patient wird weniger belästigt, da die Zahl der Sitzungen auf ein Minimum zusammenschrumpft. Auch an Material wird wesentlich gespart, denn die Röhren werden bei diesem Betriebe sehr viel langsamer abgenützt. Es empfiehlt sich, nach zwei Sekunden den Kienböckstreifen zu wechseln, da die über 3 x belichteten Streifen sich schwerer als die unter 3 x geschwärzten nach der Vergleichsskala bestimmen lassen. Größte Vorsicht bei der Kabelzuleitung ist wegen der bedeutenden Stromstärken, namentlich bei Bestrahlungen des Kopfes, unerläßlich.

Die Fälle, an welchen ich bisher meine Beobachtungen machte, betrafen Sycosis, Favus und Cancroid, Erkrankungen, die genau so günstig beeinflußt wurden, wie wir dieses mit den bisher üblichen Methoden erreichten. Es ist wohl nicht daran zu zweifeln, daß auch bei der Tiefenbestrahlung sich eine entsprechende Abkürzung wird erreichen lassen.

Testikelbestrahlung

Auch der Tierversuch an Meerschweinchenhoden hat, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, ergeben, daß nur wenige Sekunden Bestrahlung erforderlich sind, um teilweise oder völlige Zerstörung des Testes herbeizuführen. Die Meerschweinchen wurden für eine Arbeit von Simmonds, über Hodenveränderungen, bestrahlt und zwar erhielt jedes Tier die angegebene Dosis in einer Sitzung. Nach je 6 Sekunden wurde, um einer zu starken Erhitzung der Röhre vorzubeugen, eine kurze Pause eingeschaltet. Da die Bauchseite der Tiere bestrahlt wurde, so deckt sich bei der geringen Dicke der Bauchdecken die Oberflächendosis wohl ziemlich genau mit der applizierten Tiefendosis.

Auch hier wurde der Snooksche Apparat und eine weiche Gundelach-Momentröhre benutzt. Die Härtebestimmung erfolgte in gleicherweise wie oben beschrieben. Die Bestrahlungsdauer wird höchstwahrscheinlich noch wesentlich unter 36 Sekunden mit dem gleichen Erfolg herabgesetzt werden können. Über die in dieser Richtung im Gange befindlichen Versuche werde ich später berichten.

Bestrahlung der Testes	Dauer der Bestrahlung	Härtegrad der Röhre	Sekundäre belastung in Milliampère	Oberflächendosis in Kienböck	Fokus/Hautabstand	Röhrenwand/Hautabstand	Endergebnis
Meerschwein I	78 Sek.	W. 6—8	ca. 35 M.-A.	$17^1/_2$ x	$11^1/_2$ cm	1 cm	Zerstörung der Testes
Meerschwein II	50 „	W. 6—8	ca. 33 „	18 x	$11^1/_2$ „	1 „	
Meerschwein III	42 „	W. 6	ca. 36 „	14 x	$11^1/_2$ „	1 „	
Meerschwein IV	36 „	W. 6	ca. 35 „	11 x	$11^1/_2$ „	1 „	

Spezielle Technik.

---

14. Kapitel.

Die Kopfuntersuchungen.

Die Aufnahmen des Schädels bilden einen Teil der Röntgenographie, welcher zu den schwierigsten gehört. Es liegt dieses daran, daß einesteils die Festlagerung des Kopfes nicht einfach ist, da sich Atembewegungen und ganz besonders die Herzaktion auf ihn in der Weise übertragen, daß eine völlige Ruhigstellung außer mit der Kompressionsblende, nur schwer zu erreichen ist, anderenteils viele Partien des menschlichen Schädels, wie der Hinterkopf und der Mittelkopf, zu dick sind, um kontrastreiche Strahlen in genügender Menge durchzulassen. Innerhalb des Gehirns entstehen Sekundärstrahlen, so daß im allgemeinen bislang auf den Schädelplatten mit Ausnahme der Gefäßfurchen der Meningealgefäße, sowie der Knochennähte nicht allzuviel zu sehen war. Leichter ist die Aufnahme des Gesichtsschädels, da hier nur dünne Knochenpartien zu durchdringen sind, so daß sich die Stirnhöhle die Orbita, das Antrum Highmori, die Keilbeinhöhle, Crista galli, Sella turcica, Ephippion, Mastoideuszellen, sowie der Ober- und Unterkiefer meist in relativ guten Bildern darstellen.

Man hat zu den verschiedensten diagnostischen Zwecken die Röntgenographie des Kopfes herangezogen, selbst Untersuchungen auf dem Leuchtschirm, worüber später zu reden sein wird, sind beim Gesichtsschädel schon häufiger zur Anwendung gekommen. Die Indikationen für eine Kopfuntersuchung sind nicht so spärlich, wie man bisher annahm.

I. Stirn- und Highmorshöhle.

Zunächst kommen die Empyeme der Stirn- und Highmorshöhle in Betracht.

Stirnhöhle

Die Darstellung der Stirnhöhle erfolgt in Bauchlage mit der Stirn auf der Platte. Fig. 135. Der auf den Hinterkopf aufgesetzte Zylinder (13 cm) fixiert den Schädel absolut. Man erhält ein Bild, welches über die Ausdehnung der gesamten Stirnhöhle vollständig Aufschluß gibt. Die Septa sind markant differenziert. Man hat sich zu hüten, den Befund mit einer Neubildung des Schädels resp. der Gehirnhaut, welche den Knochen usuriert hat, zu verwechseln. Auch in Seitenlage fallen die Bilder dieser Höhle gut aus, sie sind namentlich dann brauchbar, wenn man Metallsonden zu diagnostischen Zwecken eingeführt hat.

Highmorshöhle

Die Highmorshöhle stellt man sagittal derart dar, daß Patient genau wie bei der Stirnhöhlenuntersuchung mit dem Gesicht auf der Platte liegt. Die Untersuchung im Sitzen mit gegen die Platte gelehntem Kopf ist wegen zu mangelhafter Fixierung recht unsicher. Der auf das Hinterhaupt gesetzte Zylinder (13 cm) fixiert den Kopf. Die scheinbar etwas unbequeme Gesichtslage wird über Erwarten gut ertragen, wenn man darauf achtet, daß die Nase nicht gedrückt wird, was bei Auflegen der Stirn auf die Platte leicht zu vermeiden ist. Um namentlich bei wiederholten Aufnahmen einem event. Haarausfall vorzubeugen, lege ich zwischen Kopf und Zylinder ein Stück dünnen Ziegenleders. Dieses beeinträchtigt das Bild nicht und gibt genügend Schutz. Die Diagnose des Empyems der Highmorshöhle ist auf den Platten nicht immer leicht, da wie Gocht richtig bemerkt, die beiden Oberkieferhöhlen auch bei Gesunden bisweilen verschiedene Schattentiefen geben können. Dennoch sind die Erfolge meist überraschend, so daß man in klinisch zweifelhaften Fällen die Röntgenographie nicht vernachlässigen sollte. Bezüglich der Diagnosenstellung ist auf die Spezialwerke (Kuttner u. a.) hinzuweisen.

Im allgemeinen werden klinisch häufiger Empyeme angenommen als wirklich vorhanden sind. Druckpunkte rechts und links neben den Nasenflügeln sprechen mehr für Trigeminusneuralgien als für Empyeme. Nächst den letzteren geben den Zahnarzt interessierende, pathologische Prozesse in den Highmorshöhlen zur Untersuchung Anlaß. Bei Extraktionen von Zähnen des Oberkiefers können abgebrochene Wurzelstücke unter Umständen in die Kieferhöhle geraten. Diese oder eventuell von Zahnabscessen ausgehende Eiterungen nachzuweisen, ist die Aufgabe der Röntgenographie. Für die beiden letztgenannten Zwecke empfehle ich die Seitenlage.

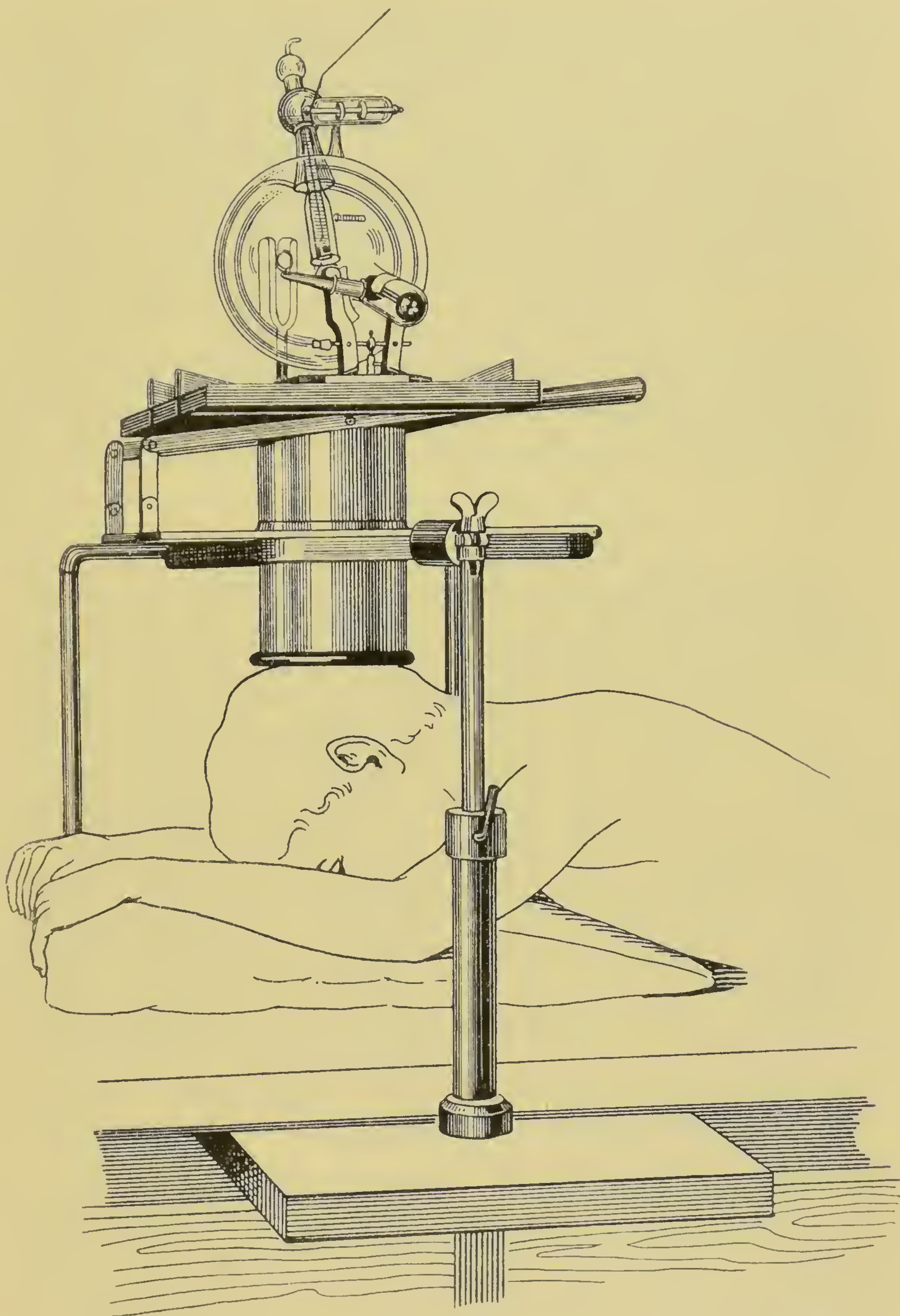


Fig. 135.

Der Kopf wird genau wagerecht auf die auf Holzbrettern liegende Kassette gelagert und Zylinder (13 cm) senkrecht auf die Highmorshöhle der der Platte abgewandten Seite gesetzt. Die exakte senkrechte Einstellung ist außerordentlich wichtig, da man sich vor

perspektivischen Verzeichnungen, welche eventuell ein Hineinragen von Zahnwurzeln in die Kieferhöhle vortäuschen können, hüten muß. Die Röhre sei mittelweich, die Exposition ist auf ca. 1 Minute zu bemessen. K. E. 12 Sek. mit etwas härtere Röhre W. 7—8.

Die bei den Zahnuntersuchungen zu beschreibende Technik der Röntgenographie mittels in den Mund gelegter Films zum Zweck der Kieferhöhlenuntersuchung, ist der vorbeschriebenen Methode nicht überlegen und wird verhältnismäßig selten zur Anwendung kommen. Die Filmaufnahme wird so ausgeführt, daß Patient entweder sitzt oder mit stark adduziertem Kinn und erhöhtem Kopfe liegt. Der Film wird dem Gaumen angelegt und durch den Finger des Untersuchers fixiert. Auf genaue Mitteleinstellung der Röhre senkrecht über dem Antrum ist zu achten.

II. Schädel- und Augenhöhle.

Hier sind es vor allen Dingen die Fremdkörper im Bulbus oder hinter demselben, welche zu diagnostistischen Untersuchungen mit Röntgenstrahlen Anlaß geben. Des weiteren kommen Tumoren der Augenhöhle, die eine Protrusio Bulbi veranlaßt haben, in Betracht. Die letzteren, sowohl wie die Fremdkörper, sind, wie wir sehen werden gut darzustellen. Glasaugen markieren sich deutlich.

Schädeluntersuchung

Selbstverständlich geben auch die Frakturen des Schädels, namentlich dann, wenn es sich nicht um den Gesichtsschädel handelt, und vorausgesetzt, daß eine gute Technik zur Anwendung kommt, manches erfolgreiche Resultat. Desgleichen sind angeborene Spaltbildungen nachzuweisen, ferner syphilitische Veränderungen des Schädeldaches und, was wohl am häufigsten vorkommen dürfte, Projektile infolge von Schußverletzungen. Die Darstellung intercranieller Tumoren ist bis jetzt im eigentlichen Sinne des Wortes noch nicht geglückt, ausgenommen solcher Geschwülste, welche bereits Verkalkungsprozesse durchgemacht haben. (Fittig, Lichtheim, Gottschalk, Kienböck.)

Tumor des Schädels

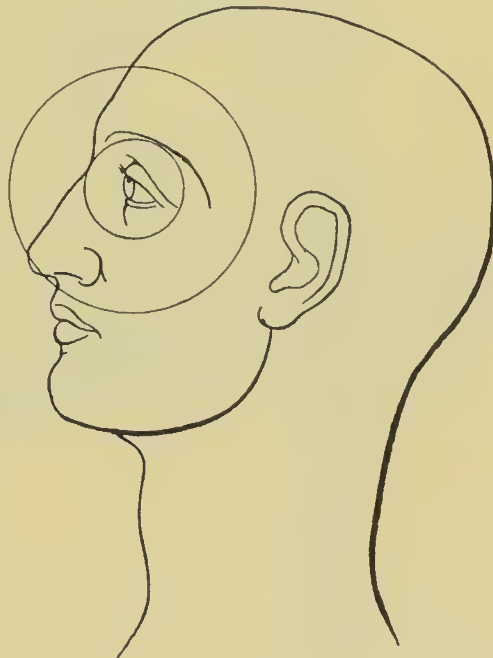
Es ist mir einmal gelungen, einen Tumor (Gliom der Dura Mater) nachzuweisen. Er hatte infolge Usurierung der Schädeldecke letztere verdünnt, so daß man bei der Aufnahme in Seitenlage eine deutliche Zeichnung auf dem Os paritale, welche die Figur des Tumors nachahmte, konstantieren konnte. Bei der Operation wurde dieses Knochenstück entfernt, und man überzeugte sich davon, daß die usurierte Partie der Schädeldecke sich mit dem auf der Röntgenplatte gewonnenen Bild absolut deckte. Der Tumor selber war bereits teilweise in die Hirnrinde eingewachsen. Ich habe dann noch verschiedene Erfolge relativer Art bei Hypoyhysis-Tumoren zu verzeichnen. Die Diagnose konnte aber nur dadurch gestellt werden, daß an der Konfiguration der Sella turcica Veränderungen nachgewiesen wurden. Während die Sella sich am normalen Schädel exakt ge-

zeichnet abhebt, sieht man bei Hypophysis-Tumoren an Stelle des Sattels eine muldenförmige Exkavation unter Umständen mit teilweisem oder völligem Schwund der Proc. clinoidei. Den Tumor selber sieht man natürlich nicht; man kann auf sein Vorhandensein nur aus den Veränderungen der Sella schließen. Hypophysis-tumoren

Im übrigen halte ich es durchaus nicht für unmöglich, daß wir bei einer besser ausgebildeten Technik im Laufe der Zeit dahin kommen werden, daß das Röntgenverfahren in der Lokalisation der Tumoren eine Rolle spielt.

Bei Untersuchungen der Orbita auf Fremdkörper im Auge empfehlen sich die sagittalen Projektionen nicht, da die Strahlen das ganze Gehirn durchdringen müssen. Die Verschleierung der Platten würde bei diesen Richtungen erheblich sein. Dazu kommt, daß die Fremdkörper entsprechend ihrem Eindringen meist sagittal im Auge zu liegen pflegen, infolgedessen sie in ihrer Längsachse auf die Platte projiziert und somit punktförmig erscheinen würden. Auge Fremdkörper

Der Patient wird in Seitenlage auf den Untersuchungstisch gelegt. Unter den Kopf kommt ein Keilkissen, oder wenn es sich um Aufnahmen der Sella turcica handelt, ein oder mehrere Bretter. Der Schädel muß absolut horizontal liegen. Sandsäcke gegen das Hinterhaupt und gegen die Stirn gelagert, verhindern die Möglichkeit des Zitterns, oder eine Bewegung des Kopfes infolge der Herzaktion. Man kann jetzt entweder die Tisch- oder Wandarmblende anwenden, oder, was für diese Untersuchung wesentlich vorteilhafter ist, die Kompressionsblende, so zwar, daß zunächt der Zylinder, welch letzteren ich durch Einlage von Bleiblenden in sein unteres Ende zur Erhöhung der Bildschärfe unter Umständen noch verengere, auf die Orbita der der Platte abgewendeten Kopfpartie eingestellt wird (Fig. 136). Ein Wattekissen, zur elastischen Fixierung, dient zum Schutz gegen den Druck der Blende.[1]) Das Kompressionsrohr (13 oder 10 cm)


Fig. 136.

[1]) In dieser wie in allen folgenden Figuren ist das Wattekissen der besseren Übersicht halber nicht mit abgebildet.

wird so weit heruntergedrückt, als es der Patient, ohne Schmerz, aushalten kann (Fig. 137). Man darf indessen nicht versäumen den Hinterkopf, wie schon erwähnt, durch Sandsäcke zu fixieren, da er sonst leicht während der Kompression nach hinten aus-

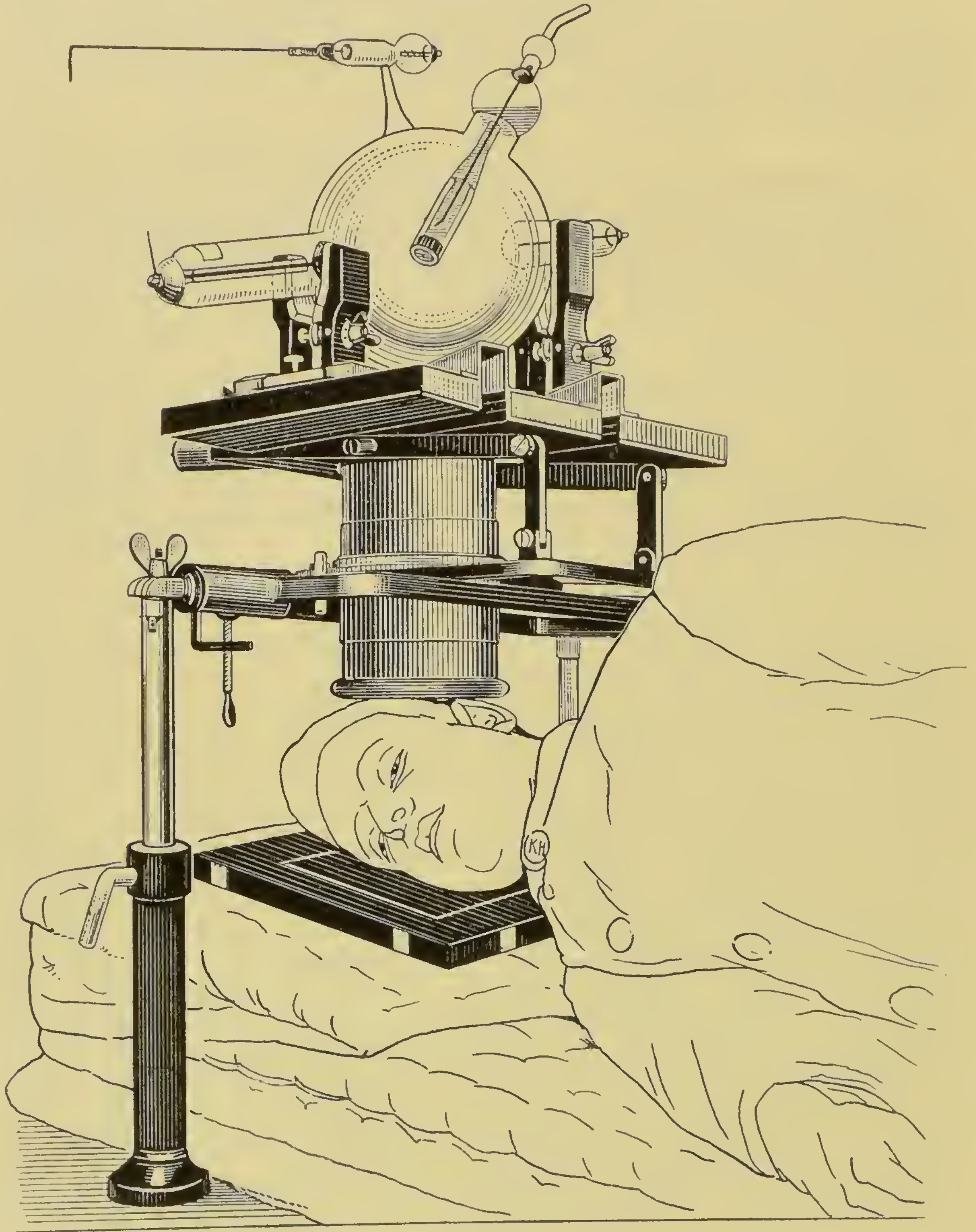


Fig. 137.

rutschen kann, denn die untere Apertur des Zylinders berührt nur etwa mit einem Halbkreise den Kopf, während der andere Halbkreis sich oberhalb der Nase, aber nicht in unmittelbarer Berührung mit den Schädelteilen befindet. Ist der Kopf rund, so kann beim Komprimieren, wenn keine Kissen dazwischen gelegt werden, die

Blende abgleiten. Hat man ihn indessen genügend gut fixiert, so ist dieses nicht zu befürchten, da er sich infolge der Kompression in absolut unbeweglicher und ruhiger Stellung befindet. Auch besondere zur Kompressionsblende nach den Angaben von Grashey konstruierte Kopfhalter empfehlen sich. (Fig. 138.) Diese haben durch Scharnier- oder Kugelgelenke, welche durch die Flügelschrauben S_1 und S_2 fixiert werden können, eine große Beweglichkeit erhalten. Die abnehmbaren Holzbüchsen H_1 und H_2, in denen die Metallrohrstützen R_1 und R_2 verstellbar sind, umgreifen drehbar und in der Höhe verschiebbar die Stativsäulen des Blendengestells.

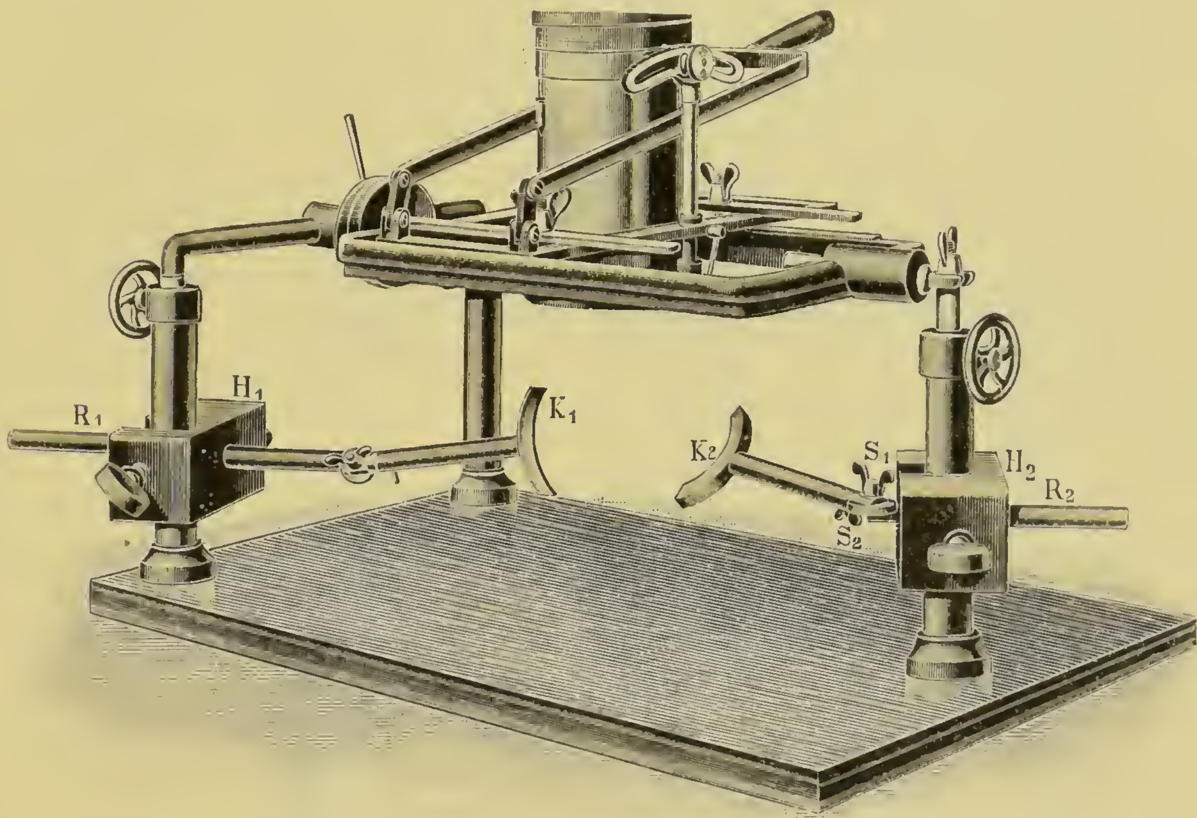


Fig. 138.

Sobald die auf dem Blendenbrett montierte Röhre auf das Kompressionsrohr aufgesetzt worden ist, fordert man den Patienten auf, zunächst einen Punkt oberhalb der Horizontalen in Augenhöhe zu fixieren, wodurch der Bulbus mit seinen hinteren Teilen nach unten gedreht wird. Bei der später folgenden zweiten Aufnahme wird ein unterhalb der horizontalen Ebene liegender Punkt ins Auge gefaßt, um andere Teile des Bulbus nach unten, der Platte zuzuwenden. Es hat dieses den Zweck, verschiedene Partien des Auges in verschiedenen Ebenen zu sehen, da bei der kugelförmigen Gestalt des Augapfels ein feiner Splitter eventuell in seiner Längsachse auf die Platte projiziert werden könnte, in welchem Falle der Fremd-

körper, wie schon oben erwähnt, sich nur als Punkt abheben würde. Sind nun in der beschriebenen Weise zwei Aufnahmen gemacht, so wird bei einer derselben mit ziemlicher Sicherheit der Fremdkörper in einer günstigen Richtung auf die Platte gebracht sein. Dieses ist indessen nur dann der Fall, wenn es sich um Corpora aliena im Bulbus handelt. Fremdkörper, welche in der Orbita selber sitzen, werden im allgemeinen nicht durch diese Drehbewegung des Augapfels beeinflußt[1]) Die Exposition beträgt $^1/_2$ bis 1 Minute mit einer mittelweichen Röhre. K. E. 3—6 Sekunden. (Skala W 6 BW 5) Selbst außerordentlich kleine Partikel werden auf diese Weise häufig dargestellt, aber selbstverständlich nur dann, wenn sie aus Metall bestehen, Glassplitter sind äußerst selten, Holzsplitter niemals nachzuweisen. Man sollte die Untersuchung auf Fremdkörper im Auge besonders dann mit großer Genauigkeit vornehmen, wenn eine Magnetextraktion beabsichtigt wird, denn es ist ohne weiteres einleuchtend, daß man den Zug des Magneten rationeller wird in Anwendung bringen können, wenn man über die Richtung, in welcher der Fremdkörper liegt orientiert ist. Die Verletzungen, welche bei der Magnetextraktion infolge unrichtig angebrachten Zuges gesetzt werden, sind nicht unbedeutende und können zu schweren Schädigungen führen.

Methode Cowl

Unter Umständen ist die von Cowl angegebene Methode der Untersuchung der Orbita vom Munde aus zu empfehlen. Während Patient auf einem Stuhl sitzt, wird ein dem Gaumen anzupressender Film in den Mund gebracht. Die Röhre ist senkrecht über der Orbita einzustellen. Die Fixierung des Kopfes muß sehr sorgfältig, am besten mittels einer Klammer bewerkstelligt werden. Da die Strahlen auf ihrem Wege nur wenige poröse Knochen zu passieren haben, so wird sich ein gutes Kieferstrukturbild, in welchem sich eventuell metallische Fremdkörper deutlich herausheben, erzielen lassen. Auch hier empfehlen sich Aufnahmen mit verschiedenen Blickrichtungen nach *oben* und *unten*, um den Sitz des Fremdkörpers durch seine Lageveränderung festzustellen.

Die Cowlsche Methode läßt sich, wie Fig. 139 zeigt, auch sehr gut mittels der Kompressionsblende ausführen. Letztere gewährleistet am besten die völlige Ruhigstellung des Kopfes. Der Rahmen wird auf seinen höchsten Punkt gestellt, nach außen herumgeschlagen und auf einem Holzstativ festgelegt. Unter dem Rahmen nimmt Patient auf einem niedrigen Stuhl oder Bock Platz, und nunmehr wird der Zylinder, welcher so einzustellen ist, daß

---

[1]) Holt veröffentlicht in den *Fortschritten a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen* Band 9 Seite 209 die Beobachtung, daß Extra-Oculare Fremdkörper sich bisweilen mit dem Bulbus drehen können.

die Lichtachse durch die Orbita geht, fest auf den Kopf heruntergedrückt.

Vorzügliche Dienste leistet auch die Köhlersche Methode des Nachweises von Fremdkörpern in der Orbita. Man läßt den

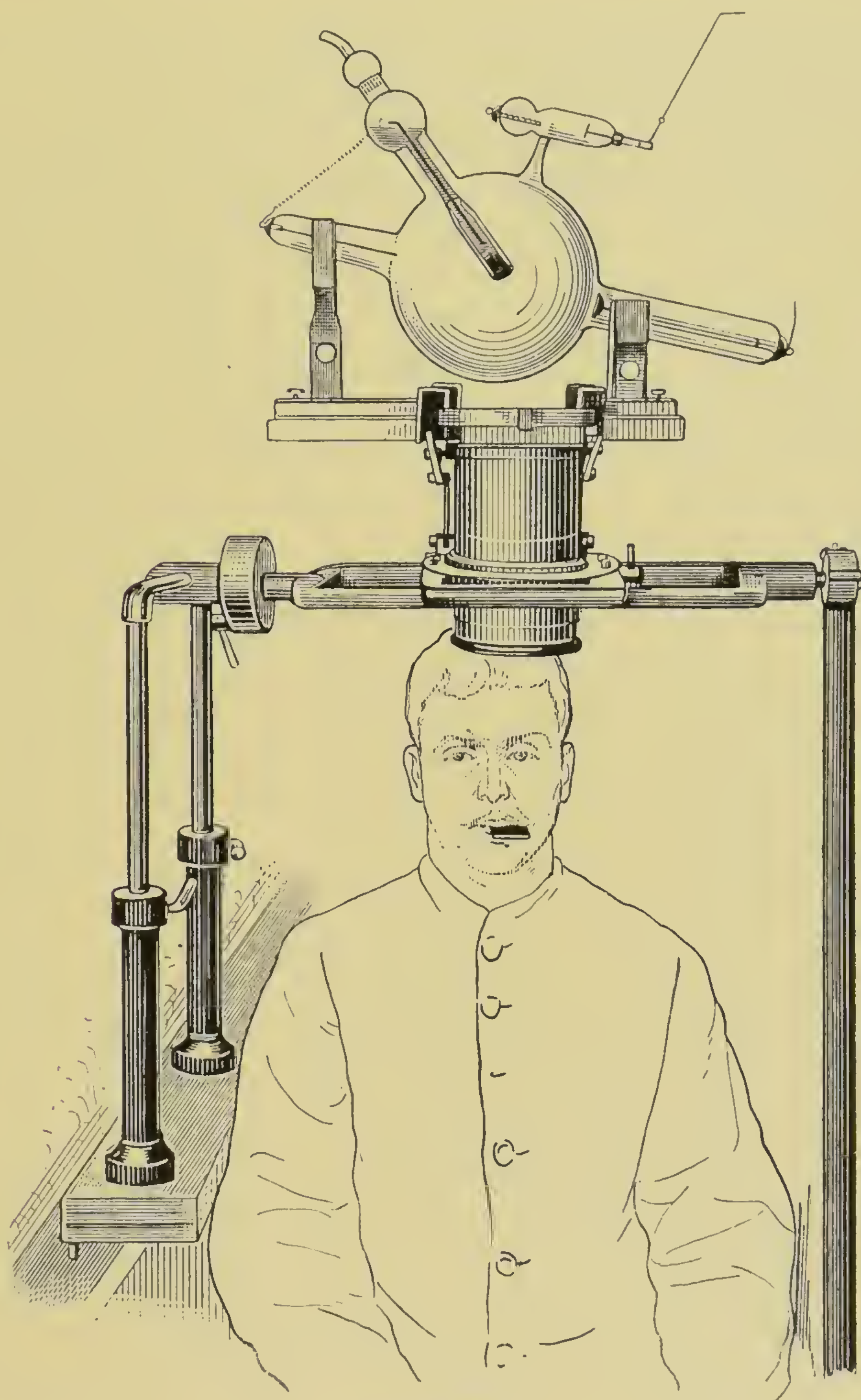


Fig. 139.

Patienten während der ersten Hälfte der Exposition einen anderen Punkt als während der zweiten Hälfte der Belichtung fixieren. Diese beiden Punkte müssen möglichst weit auseinandergelegen sein. Befindet sich der Fremdkörper im Bulbus, so wird er infolge

Methode Köhler

der Bewegung des letzteren unscharf oder doppelt erscheinen. Ist er dagegen in der Orbita gelegen, so vermag die Bewegung des Bulbus die Lage des Fremdkörpers nicht zu beeinflussen, und wird auf der Platte oder dem Film scharf zum Ausdruck kommen.

Die stereoskopische Untersuchung der Orbita bei Fremdkörpern ist ebenfalls sehr zu empfehlen, da sie uns ein gutes und einwandsfreies Bild der Lage des Splitters gibt.

Stereoskopie der Orbita

Die fertige Platte muß genau betrachtet werden, da bisweilen die Schatten äußerst klein ausfallen und kaum zu konstatieren sind. Sollte man die Diagnose im positiven Sinne entschieden haben, so verfehle man nicht, eine zweite Aufnahme zu machen oder das Köhlersche Doppelplattenverfahren (näheres unter Nierensteinuntersuchungen) in Anwendung zu bringen, um nicht durch einen eventuellen Plattenfehler oder dergleichen irre geleitet zu werden. Erst bei zwei hintereinander ausgeführten Untersuchungen mit gleichem positiven Resultat ist man berechtigt, die Diagnose auf vorhandenen Fremdkörper zu stellen. Die zahlreichen Linien und Schatten, welche das Röntgenbild des Gesichtsschädels aufweist, können nur zu leicht zu Verwechslungen Anlaß geben. Es können absolut normale Zeichnungen unter Umständen als Corpora aliena angesprochen werden, weshalb Vorsicht geboten ist.

Tumoren der Orbita

Die Untersuchung auf Tumoren in der Orbita geschieht genau in derselben Weise, wie die auf Fremdkörper. Sind die ersteren knöchern, so lassen sie sich gut erkennen, sind sie von weicher Substanz, so ist mit Röntgenstrahlen nichts zu erreichen.

Frakturen des Gesichtsschädels sind unter Umständen schwer zu konstatieren. Auch hier stören die vielen kreuz und quer laufenden Linien, welche sämtlich normalen Teilen des Schädels angehören, so daß man nicht immer imstande sein wird zu sagen, was normal oder pathologisch ist. Es ist eine dankenswerte Leistung von Winckler und Schüller, daß sie die normale Anatomie des Schädels im Röntgenbilde bearbeitet haben. Die Kenntnis der verschiedenen Linien hat uns für die Diagnostik der Frakturen des Gesichtsschädels bereits reichen Nutzen gebracht. Die Technik ist genau dieselbe wie bei der Aufnahme der Augenhöhle, nur daß andere Partien unter das Diaphragma gebracht werden. Die Aufnahme des Schläfenbeines und der benachbarten Partien gelingt in den meisten Fällen namentlich dann, wenn man mit der Kompressionsblende in exakter Weise verfährt (Fig. 140). Man setzt die Blende (13 cm) so auf das Ohr, daß die Lichtachse genau durch den Meatus auditor. geht. Die Exposition mit einer weichen Röhre (Skala W 6 BW 4) muß etwas länger als bei den Fremdkörpern, etwa

Frakturen des Gesichtsschädels

auf zwei Minuten, bemessen werden. K. E. 6 Sek. Es gelingt dann, das Schläfenbein mit seinen Einzelheiten scharf auf die Platte zu bringen. Der Meatus auditorius ext. steht im Mittelpunkt des Bildes, der Proc. mastoideus mit seinen Zellen ist deutlich erkennbar, die Fossa glenoidalis, sowie der Gelenkfortsatz des Kiefers erscheinen scharf und mit Struktur, desgleichen der Processus zygomaticus. Über das schwer darstellbare Unterkiefergelenk wird im nächsten Kapitel gesprochen werden. Außerdem befinden sich auf dem Bilde noch die Sella turcica mit der Keilbeinhöhle, sowie das Felsenbein in guter Strukturzeichnung. Stellt man die Lichtachse nicht auf den Meatus auditorius int. ein, sondern geht man etwas weiter nach hinten zum Hinterhaupt hinüber und nimmt als Einstellungspunkt eine Stelle, welche vom Gehörgang nach hinten, drei Finger breit entfernt liegt, so erhält man die hintere Schädelgrube. Die Gefäßfurchen sind sowohl hier wie an sämtlichen übrigen Partien des Schädels stets mit außerordentlicher Deutlichkeit zu sehen. Die Vordere Schädelgrube bringt man durch Verlegung des Einstellungspunktes nach vorn zur Darstellung. Das Os parietale wird in Seitenlage so untersucht, daß man als Einstellungspunkt die Protuberantia occipitis wählt. Auch diese Bilder zeigen die Sulci der Gefäße, so markiert sich namentlich der Sulcus meningeus in plastischer Form. Die Schädelnähte sind bei Kindern, aber auch oft bei Erwachsenen haarscharf in ihrem zackigen Verlauf zu sehen, so daß sie sehr gut als Meßpunkte bei etwaigen Lokalisationsversuchen dienen können. Wenn man die Platte genau betrachtet, so kann man deutlich die äußere Ohrmuschel differenzieren, so daß hierdurch ein Orientierungspunkt gegeben ist, der besser zu verwerten ist, als beispielsweise der Meatus auditorius, welcher nur in seiner knöchernen Partie dargestellt, mithin nicht zugänglich für Anlegung von Meßvorrichtungen ist. Die äußere Ohrmuschel dagegen ist als Meßpunkt gut zu benutzen, und von dieser aus kann man Berechnungen anstellen, wenn es sich um Feststellung von Tiefenverhältnisse handelt.

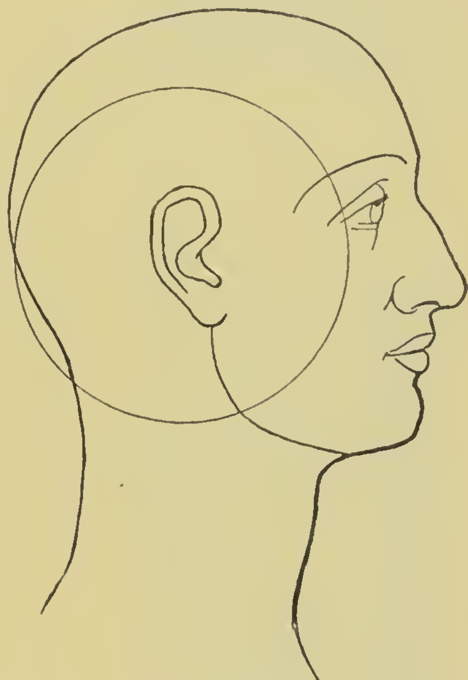


Fig. 140.

Die Aufnahme von vorn nach hinten wird so gemacht, daß

Patient in Rückenlage liegt. Je nachdem man die rechte oder linke Seite des Hinterhauptes darstellen will, wird das rechte oder linke Tuber frontale als Einstellungspunkt benutzt. Handelt es sich dagegen um Übersichten, wie wir sie zu Lokalisationszwecken brauchen, so stellen wir genau auf die Mitte der Stirn so ein, daß der vordere Rand des Kompressionsrohres (13 cm) mit dem Margo supraorbitalis abschneidet. Nach Zwischenlegen von Wattekissen wird der Schädel fest auf die Kassette aufgepreßt. Die Expositionszeit wird mit einer weichen Röhre (Skala W 6 BW 5) zwei bis drei Minuten betragen. K. E. 12 Sek. Man erhält ein Bild des Hinterhauptes mit durchscheinenden Rändern der Augenhöhle, und sieht sehr gut die Prot. occipitis, sowie die Lambdanaht. Auch diese Aufnahme dient zu Lokalisationszwecken. Untersuchungen des Schädels in Seiten und Rückenlage wird man dann machen, wenn es sich um den Nachweis von Knochentumoren oder Projektilen handelt. Durch zwei solche senkrecht zueinander stehende Aufnahmen ist ein Geschoß zu lokalisieren, desgleichen ein Tumor, welcher sich durch Veränderung der Knochensubstanz des Schädels kundgibt. Die Lokalisation derselben (siehe Kapitel „Fremdkörper") muß nach stereometrischen Grundsätzen vorgenommen werden, da es sich darum handelt, innerhalb einer Kugel bei mehreren gegebenen festen Punkten auf der Oberfläche einen Punkt im Innern zu bestimmen.

Lokalisation im Schädel

---

15. Kapitel.

Die Untersuchungen der Mundhöhle und der Zähne.

Ober- und Unterkiefer.

Die Röntgenuntersuchungen der Zähne haben sich in den Großstädten in den Kreisen der Zahnärzte jetzt im allgemeinen eingebürgert, wenngleich der Vorteil, welchen die Zahnheilkunde aus dieser Methode ziehen kann, noch nicht genügend anerkannt wird[1]). Mit Recht sagt Hauptmeyer:

„In Anbetracht der großen Bedeutung, den die Röntgenphotographie für die Zahnheilkunde hat, dürfte eine Röntgeneinrichtung wenigstens in den staatlichen Anstalten und in sonstigen zahnärztlichen Kliniken mit

[1]) Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde XXIV.

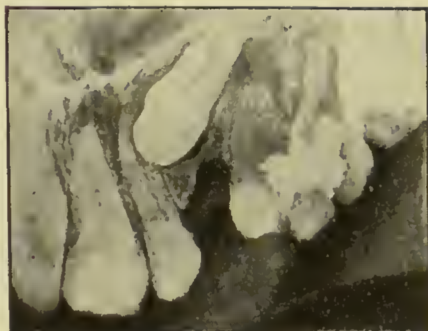


Fig. 1.

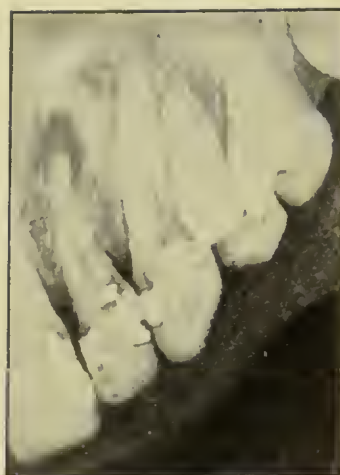


Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 6.

hoher Frequenz nicht mehr fehlen. Und es ist eine unabweisbare Pflicht, die berechtigte Forderung der betreffenden Klinikleiter auf Beschaffung einer Röntgeneinrichtung auf das nachdrücklichste zu unterstützen."

In der Kruppschen Zahnklinik ist zum ersten Male diese Anforderung nach meinen Ratschlägen durch Hauptmeyer ausgeführt worden. Die Beschreibung des unter seinem bewährten Leiter mustergültig funktionierenden Institutes findet sich in obenerwähnter Monatsschrift. Zahnklinik Krupp

Auf wenigen Gebieten der Röntgendiagnostik werden so nutzbringende Resultate erzielt, wie gerade auf dem der Zahnuntersuchung. Es liegt dieses daran, daß die Indikationen meist sehr wichtige und unter Umständen dringende sind, und daß die Technik es gestattet, hier Ergebnisse von einer Schönheit und Klarheit zu erreichen, wie wir sie sonst nur selten zu sehen gewohnt sind. Es unterliegt keinem Zweifel, daß in Zukunft die Röntgendiagnostik für die Zahnheilkunde denselben Wert erlangen wird, wie sie ihn in der Chiurgie seit langem besitzt.

Die Gründe, welche den Zahnarzt veranlassen können, zu Röntgenuntersuchungen zu greifen, sind vor allen die Anomalien des Zahnwechsels im Kindesalter. Bei einer großen Zahl von Kindern finden in der Periode des Zahnwechsels bedeutende Störungen im Zahnwachstum statt, indem einzelne Zähne nicht zum Durchbruch kommen, oder die sogenannten Milchzähne trotz fortschreitenden Alters des Kindes nicht ausfallen wollen. Unter diesen Umständen tritt die Frage an den Arzt heran, ob es sich um einen Defekt der Ersatzzähne handelt, oder ob sie nur retiniert im Kiefer liegen und event. zu einer späteren Zeit zu erwarten sind (siehe Tafel I, Fig. 1). Hierüber etwas Näheres zu wissen, ist selbstverständlich von Bedeutung, da man sich schwerlich entschließen wird, einen festsitzenden Milchzahn zu entfernen, wenn man nicht absolut sicher ist, daß der Ersatzzahn binnen kurzem hervortreten wird. Andererseits haben die Zahnärzte das Interesse, bei engstehenden Zähnen regulierende Operationen vorzunehmen, welche für den Durchbruch des zu erwartenden Zahnes Bahn schaffen sollen. So werden beispielsweise Zähne auseinandergedrängt, um dadurch den nachfolgenden die Möglichkeit zu geben, in die künstlich geschaffene Lücke einzurücken. Alle diese Vornahmen beruhen aber auf der Voraussetzung, daß auch wirklich ein Zahn in der Tiefe liegt, und daß er eine solche Stellung und Lage hat, daß sein Nachrücken möglich ist. Es ist nicht selten, daß die retinierten Zähne schräg (Tafel I, Fig. 1) oder fast vollständig quer liegen. Unter solchen Umständen ist natürlich ihr Zutagetreten kaum zu erwarten. In diesem Falle wird nur Zahnwechsel-anomalien

ein zahnärztlich operativer Eingriff von Erfolg begleitet sein können. Das Vorhandensein, sowie die anatomische Lage der retinierten Zähne läßt sich, ebenso wie das Fehlen derselben, mittels des Röntgenverfahrens außerordentlich prägnant nachweisen, so daß man dem Zahnarzt ein getreues Bild der im Kiefer befindlichen Zähne vorlegen kann, aus welchem er über ihre Größe und Stellung aufs beste orientiert wird.

Zahnwurzeln

Von Bedeutung ist ferner in vielen Fällen eine genaue Kenntnis der Zahnwurzeln. Anomalien sind hier durchaus nicht selten, überzählige, oder in ihrer Form veränderte Wurzeln werden beobachtet, welche, wenn es sich um Extraktionen von Zähnen handelt, zu großen Hindernissen werden können. Auch diese Wurzelverhältnisse überblicken wir mittels des Röntgenverfahrens. Ebenso wie die Wurzeln des gesunden Zahnes darstellbar sind, sind die bei Extraktionen abgebrochenen und dann stecken gebliebenen mit Leichtigkeit zu finden, so daß mancher Zahnabszeß, manche Kiefererkrankung oder Fistelbildung auf alte Wurzelresiduen zurückgeführt werden kann. Auch über die Gesundheit einer solchen Wurzel resp. über ihre Größe ist man in der Lage, Bestimmtes auszusagen, was von Wichtigkeit ist, wenn es sich um das Einsetzen von Stiftzähnen oder um das Konstatieren von Periostitiden handelt.

Zahnabszesse

Nicht selten werden Patienten beobachtet, die über unklare Schmerzen an den Zähnen klagen, und bei welchen absolut kein Befund pathologischer Natur zu erheben ist. In solchen Fällen handelt es sich vielfach um Zahnabszesse oder Eitersäcke, die sich um eine Zahnwurzel herum, infolge bakterieller Einflüsse bilden (siehe Tafel I, Fig. 2 u. 3). Solche Abszesse ohne die Röntgenuntersuchung zu diagnostizieren, ist schwer, da sie nicht nur an kariösen, sondern auch an äußerlich völlig gesunden Zähnen vorkommen.

Die Methode gibt so außerordentlich feine Einzelheiten wieder, daß ich zweimal konstatieren konnte, wie infolge eines Zahnwurzelabszesses von der einen Hälfte der Wurzel ein kaum ein Millimeter großes Stück durch Usurierung zum Schwund gebracht worden war.

Alveolar-pyorrhoe

Von Interesse ist ferner der durch Alveolarpyorrhoe[1]) bedingte Alveolarschwund und das durch sie bedingte scheinbare Längerwerden der Zähne. Man erkennt auf den Films, wie die durch Auflagerungen deformierten Zahnwurzeln (siehe Tafel I, Fig. 4) nur mit einem kurzen Teil in der zerstörten knöchernen Alveole stecken. Die durch Zementauflagerung bedingte Wurzelverdickung (Excemen-

[1]) Gegen die Alveolarpyorrhoe wurde von amerikanischer Seite die Röntgentherapie empfohlen. Verf. stehen hierüber keine eigenen Erfahrungen zur Verfügung.

tosis), sowie Dentikel und Exostosenbildung, welche zu schweren Neuralgien führen kann, lassen sich, ebenso wie Resorptionsprozesse der Wurzeln, oder Infraktionen der Zähne, nur mittels der Röntgenaufnahme diagnostizieren. Dentikel

Weniger häufig werden Fremdkörper in der Pulpahöhle beobachtet. Gewöhnlich handelt es sich um abgebrochene Nervennadeln, welche bei früheren operativen Eingriffen nicht haben entfernt werden können. Diese bleiben bisweilen jahrelang reaktionslos im Zahn liegen und können dann später plötzlich zu Schmerzen und Entzündlichkeiten Veranlassung geben. Ein solcher Fremdkörper in der Pulpa gerät im Lauf der Zeit in Vergessenheit, und erst der Röntgenographie ist es vorbehalten, hier die Diagnose zu stellen. Wenn so einerseits unfreiwillig zurückgelassene Fremdkörper im Zahn nachzuweisen sind, lassen sich andererseits auch mit Absicht in die Pulpahöhle oder in die Wurzelkanäle gebrachte Substanzen, wie Zement-, Gold- oder Guttaperchafüllungen usw. scharf zur Darstellung bringen. Hierbei ist zu bemerken, daß die vielfach benutzten Schwerspathaltigen Guttaperchafüllungen sich wie Metalle bezüglich ihrer Absorptionsfähigkeit für Röntgenstrahlen verhalten, was in ihrer Zusammensetzung beruht. Der Sitz solcher Füllung läßt sich feststellen, und dem Zahnarzt ist die Möglichkeit, seine Arbeit kontrollieren zu können, gegeben, was namentlich bei Wurzelfüllungen von Wichtigkeit ist, da es im Interesse des Zahnes liegt, die Füllung bis hinunter in die Spitze der Wurzel zu bringen. Fremdkörper in der Pulpahöhle Zahnfüllungen

Ich konnte in einem Falle konstatieren, daß die Guttaperchawurzelfüllung eines Molarzahnes um den Bruchteil eines Millimeters aus dem unteren Ende der Wurzel hervorragte (siehe Tafel I, Fig. 5).

Ein sehr günstiges Feld für die Röntgenuntersuchungen bilden die Zahnwurzelfrakturen innerhalb der Alveole.

Ich sah bei einem Kinde Wurzel-Querfrakturen der beiden oberen Schneidezähne infolge eines Schlages gegen den Mund. Klinisch war die Diagnose zweifelhaft gewesen. Zahnfrakturen

Auch Sonden lassen sich gut in der Zahnwurzel darstellen.

Im Fall, Tafel I, Fig. 6, handelt es sich um einen fraktuierten Zahn. Die Sonde geht durch das obere und untere Fragment, welches letztere bereits Resorptionserscheinungen zeigt.

Auch andere in den Zahn resp. in die Pulpahöhle gebrachte Fremdkörper, wie in aseptische, jodhaltige Flüssigkeiten getauchte Watte und dergleichen mehr lassen sich nachweisen (Tafel I, Fig. 2). Empfehlenswert ist es, Cysten mit Wismutgaze auszufüllen und ihre allmähliche Verkleinerung zu beobachten. Cysten

Nächst den Zähnen sind es die Erkrankungen des Ober- und Unterkiefers, welche häufig der Diagnose Schwierigkeiten bereiten. Cysten, Fisteln und Sequester, kariöse Erkrankungen der Kiefer, sowie gummöse Prozesse und Geschwülste lassen sich differential-diagnostisch feststellen. Gerade bei den letzteren, wo keine erheblichen Schwellungen vorliegen, wird die Frage an den Zahnarzt herantreten, ob hier in Wirklichkeit ein solcher Prozeß besteht, oder ob eine in der Tiefe liegende alte Zahnwurzel zu der Affektion den Anlaß gibt. Das Röntgenverfahren entscheidet in diesem Falle mit Präzision die Sachlage, da es wohl stets möglich ist, Zahnwurzelreste von gummösen oder kariösen Zerstörungen des Kieferknochens zu unterscheiden.

Zahnfisteln

Es muß hervorgehoben werden, daß solche seit Jahren im Kiefer steckenden Zahnwurzeln eine Atrophie und Resorption erleiden, ähnlich derjenigen, welche wir an den Knochen zu beobachten gelernt haben. Solche atrophische Wurzeln erscheinen dann meist äußerst zart und schwach angedeutet im Kiefer, aber dem geübten Untersucher werden sie infolge ihrer charakteristischen Gestalt auch in diesem Zustande kaum entgehen.

Kiefergelenk

Die Untersuchung des Kiefergelenkes kann unter Umständen, wenn es sich um den Nachweis einer Luxation handelt, oder zur Kontrolle bei zahnärztlicherseits vorgenommenen, regulierenden Eingriffen am Unterkiefer, erforderlich werden. Als solche möchte ich beispielsweise die Stellungsänderung des Unterkiefers im Gelenk bei Kindern, deren Kiefer nicht richtig aufeinanderbeißen, erwähnen. In diesen Fällen wird man am Kiefergelenk vor und nach der Regulierung gewisse Veränderungen erkennen können. Selbstverständlich spielen auch die Frakturen des Kiefers eine wichtige Rolle. Der Verlauf der letzteren ist durch die Palpation häufig nicht mit Sicherheit festzustellen und gerade für die Anlegung einer Kieferschiene ist es von Wert, ihr einen Stützpunkt an den, die Fraktur zu beiden Seiten begrenzenden Zähnen, zu geben, was ohne die Kenntnis der Bruchlinie schwierig sein kann. (Tafel II.)

Nach dieser kurzen leicht noch zu erweiternden Zusammenstellung der Indikationen für die Röntgenuntersuchung der Kiefer und Zähne, wende ich mich zur Beschreibung der anzuwendenden Technik. Im allgemeinen folge ich der zuerst von Sjögren angegebenen Methode, welche von Port, Bouvet, Kienböck und mir weiter ausgestaltet worden ist. Die Sjögrensche Methode besteht in der Aufnahme der Zähne und des Kiefers von der Mundhöhle aus. Es ist indessen nicht vorteilhaft, sämtliche Zähne, sowie alle Kieferteile in dieser Weise zur Darstellung zu bringen.

Methode Sjögren

Besonders gut eignen sich die vorderen oberen und unteren Schneidezähne, die oberen und unteren Eckzähne, sowie die Prämolaren und die ersten Molaren des Ober- und Unterkiefers. Für die hinteren Molaren oben und unten bringt man besser eine andere Methode in Anwendung, da es nicht in allen Fällen glücken wird, einwandsfreie Bilder vom Munde aus zu erhalten. Auf dieses Verfahren, welches in der Aufnahme auf Platten von außen besteht, komme ich weiter unten zu sprechen.

Kodak- und Lumière-Films

Für die Aufnahme vom Munde aus werden photographische Films verwandt. Anfänglich benutzte ich die englischen Kodakfilms, welche eine recht gute Lichtempfindlichkeit haben, sich aber nach Vollendung des photographischen Verfahrens beim Trocknen aufrollen. Dieses ist sehr lästig, weil das nachherige Auseinanderbreiten und Aufkleben häufig nicht ohne Verletzung der Schicht von statten geht. Ein wesentlich besseres Präparat sind die vitroses rigides von Lumière. Sie sind außerordentlich resistent und rollen sich beim Trocknen nicht auf, außerdem ist ihre Lichtempfindlichkeit eine sehr hohe, so daß sie für die Zahnuntersuchung ein ideales Material sind.

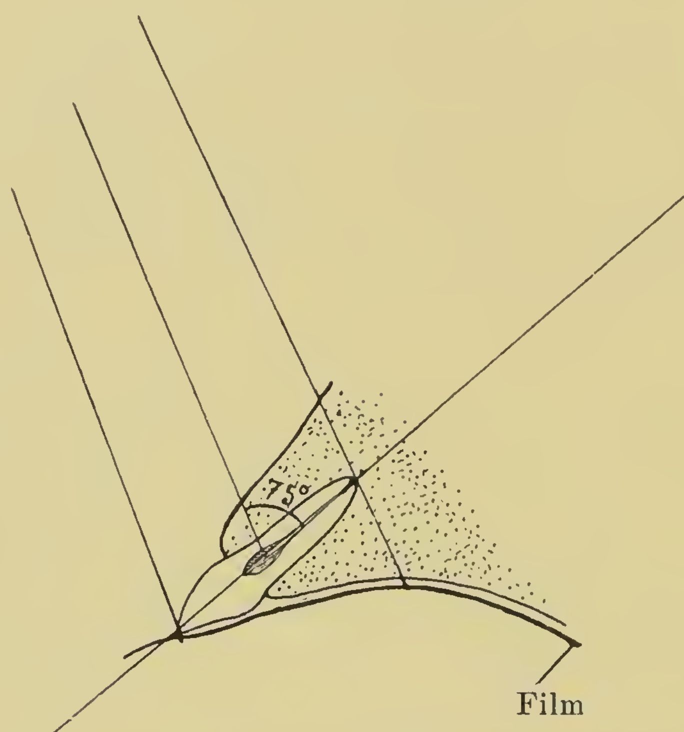
Die Films werden in der Dunkelkammer in kleine viereckige rechteckige oder ovale Stücke von 5 cm Länge und $3^1/_2$ cm Breite geschnitten und in lichtdichtes schwarzes Papier sorgfältig eingeschlagen. Es empfiehlt sich, zwei bis drei übereinander zu legen und zwar so, daß stets die Schicht nach oben gerichtet ist. Man erhält auf diese Weise statt eines Bildes mehrere, welche alle genau von der gleichen Güte sind. Die dünnen Celluloidfolien hindern den Durchtritt der Röntgenstrahlen, wie Glas dieses tun würde, nicht, infolgedessen die Bilder vollkommen gleichmäßig ausfallen. Es hat das gleichzeitige Anfertigen mehrerer Bilder den Vorteil, daß man über ein größeres Untersuchungsmaterial verfügt, so daß auch dann, wenn durch Zufall ein Film schadhaft werden sollte, noch immer genügend andere der gleichen Aufnahme in Reserve sind. Außerdem kann man einen derselben den Patienten resp. dem Zahnarzt überlassen, und behält für die eigene Sammlung die übrigen zurück. Die in lichtdichtes Papier eingewickelten Films werden in Paraffinpapier zum Schutz gegen den Speichel sorgfältig eingeschlagen und sind in dieser Form für die Aufnahme fertig.

Die Aufbewahrung der Films muß auf das sorgfältigste vorgenommen werden, Feuchtigkeit schädigt sie außerordentlich. An der fertigen Aufnahme kann man sehr wohl erkennen, ob ein Film trocken oder feucht gelagert hatte, denn im letzteren Falle zeigen sie einen diffusen Grauschleier, der auch dann auftritt, wenn unter den allergünstigsten Umständen belichtet und entwickelt

worden ist. Man hüte sich besonders, die Films in Kellerräumen oder in frisch gestrichenen resp. tapezierten Zimmern aufzubewahren, denn auch relativ geringe Feuchtigkeitsmengen in der Luft sind schon imstande, die Lichtempfindlichkeit herabzusetzen. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, die Films erst unmittelbar vor jeder Aufnahme zuzuschneiden und einzuwickeln und nicht größere Quantitäten fertig gestellter Films auf Lager zu halten.

Aufnahmetechnik

Man verfährt nun in der Weise, daß man den Patienten auf einem horizontalen Tisch, auf einer Matratze lagert, und ein Keilkissen unter den Hinterkopf legt. Die Röhre wird nach den üblichen Prinzipien 25 cm über der zu untersuchenden Stelle so ein-

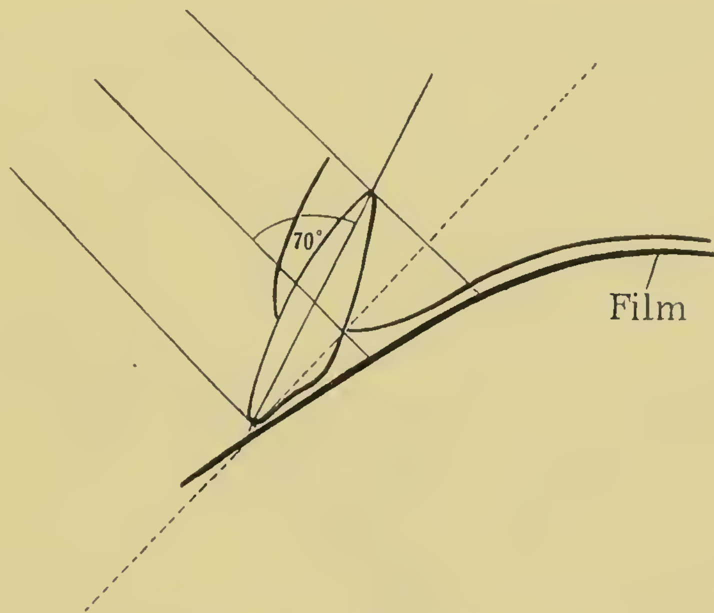


Normaler Gaumen, Zahnlänge = Schattenlänge

Fig. 141.

gestellt, daß die Lichtachse mit der Längsachse des Zahnes einen Winkel von ca. 75° bildet (Fig. 141). Ist dieses der Fall, so zeigt das Bild auf dem Film den Zahn in normaler Größe. Ist der Winkel kleiner, so erscheint der Zahn kürzer, ist er größer, so ist das Zahnbild unnatürlich in die Länge gezogen und die Wurzeln erscheinen verbreitet. Cieszynski hat meine Methode nachgeprüft und weiter ausgestaltet. Bei flachem und hohem Gaumen muß der Winkel spitzer ca. 70° resp. stumpfer ca. 80° genommen werden. Es wird dieses illustriert durch die beiden der Cieszynskischen Arbeit entnommenen schematischen Zeichnungen (Fig. 142 u. 143). Den richtigen Winkel der Lichtachse erhält man bei Aufnahmen der Vorder- und Backzähne des Oberkiefers dann, wenn das Kinn bei Rücken-

lage des Patienten stark an die Brust herangezogen wird. Dieses Heranziehen ist deswegen wichtig, weil man im Unterlassungsfall Verzeiehnungen in der Form der Zähne erhält. Nachdem die Röhre eingestellt worden ist, legt man einen der lichtdieht eingewiekelten Films dem Patienten so in den Mund, daß der erstere sieh dem Gaumen vollkommen fest anlegt. Nach vorn überragt er um ea. $^1/_2$ em die Zahnreihe. Mittels eines leiehten Druekes dureh den Finger des Untersuehers wird der Film in seiner Lage gehalten. Der Kopf muß reehts und links dureh sehwere Sandsäeke gestützt werden, um ein event. Waekeln oder Abwenden desselben während der Untersuehung nach Möglichkeit auszusehließen.



Flacher Gaumen. (Nach Cieszynski.)

Fig. 142.

Das Fixieren der Films mittels eigens für diesen Zweck konstruierter Filmhalter ist meines Erachtens unpraktiseh, da man nieht imstande ist, diese so zu applizieren, daß ein Abrutschen ausgesehlossen ist, und da außerdem der Finger des Untersuchers dem Kopf des Patienten einen gewissen Halt gibt. Ferner fühlt man mittels des Fingers wesentlieh besser als mit dem Halter, ob sieh der Film in der richtigen Lage befindet oder nieht Es haftet dieser Methode allerdings der nieht zu untersehätzende Naehteil an, daß die Hand des Untersuehers vor Bestrahlungen ungeschützt ist. Von diesem Gesiehtspunkt aus sind die Bemühungen Cieszynskis[1]), einen geeigneten Filmhalter zu konstruieren mit Dank zu begrüßen. Aueh H. Bauer[2]) hat einen vorzügliehen Filmhalter angegeben.

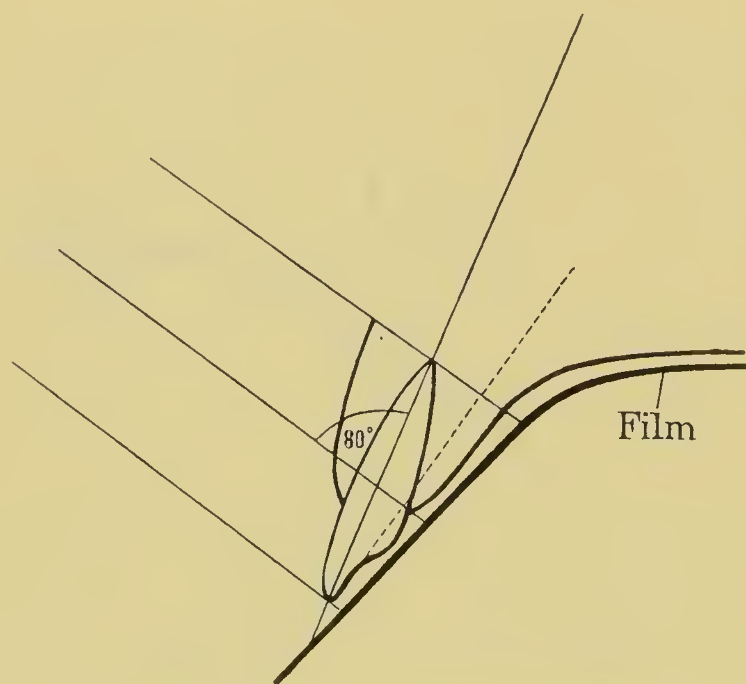
Filmhalter nach Cieszynski und nach Bauer

[1]) Korrespondenzblatt für Zahnärzte, Bd. XXXVI, Heft 4.

[2]) Verhandlungen der Deutschen Röntgen-Gesellschaft. V.

Die Qualität der für diese Aufnahmen zu wählenden Röntgenröhre ist absolut entscheidend für den Erfolg. Harte Röhren sind unter allen Umständen zu verwerfen, da der dünne Kieferknochen vollkommen durchstrahlt wird und man niemals feine Strukturaufnahmen mit ihnen erhalten würde. Man nimmt vielmehr Exemplare weichster Qualität, Skala W 5—4 BW 4—3, welche auf dem Leuchtschirm die Handknochen tiefschwarz erscheinen lassen. Es können Röhren gewählt werden, die selbst für Handaufnahmen noch zu weich sind, denn, da es sich hier um sehr dünne Knochenpartien handelt, welche das Röntgenlicht durchsetzen soll, so ist bezüglich der Belichtung eher ein Zuviel als Zuwenig

Zahnröhre



Hoher Gaumen. (Nach Cieszynski.)

Fig. 143.

zu befürchten. Bevor man also zur Untersuchung schreitet, vergewissere man sich auf das genaueste über die Qualität der Röhre.

Ist die Lagerung des Patienten in der beschriebenen Weise sachgemäß ausgeführt, so gibt der Untersucher seinem Assistenten das Zeichen zum Einschalten. Das Ausschalten besorgt der Assistent verabredungsgemäß nach Ablauf einer vorher festgesetzten Sekundenzahl. Es ist nicht ratsam, daß der Untersucher selber durch Kommando das Zeichen zum Ausschalten gibt, da durch das Sprechen eine geringe Erschütterung bedingt wird, die das Bild leicht unscharf machen kann. Auf die Ruhe der Lage und auf die Sicherheit der den Film haltenden Hand kommt in diesem Falle alles an. Auch das geringste Zittern oder die unbedeutendste Erschütterung ist imstande, das Bild zu verderben. Die

Expositionszeit variiert bei den Zahnaufnahmen zwischen 5 bis 20 Sekunden. Genau läßt sich die Zeit nicht angeben, denn es ist das vollkommen Sache der Übung in der Beurteilung der zur Verwendung kommenden Röhren. Im Mittel wird man 3 bis 15 Sekunden belichten, K. E. 1. Sekunde. Für Zahnaufnahmen ist es nicht erforderlich teure Röhren wie z. B. solche mit Wasserkühlung zu benutzen. Jede billige Röhre reicht aus, wenn sie nur den vorbeschriebenen Weichheitsgrad hat. Infolge der kurzen Expositionen kann die Röhre außerordentlich lange dienen.

Die Eckzähne des Oberkiefers werden in ähnlicher Weise wie die Vorderzähne untersucht, man hat nur den Kopf des Patienten ein wenig auf die Seite zu drehen und durch einen Sandsack zu stützen. Für die Prämolar- und Molarzähne ist alsdann eine weitere Drehung bis zur vollständigen Seitenlage des Kopfes erforderlich.

Ich weise nochmals auf die Wichtigkeit hin, auch bei den seitlichen Aufnahmen des Kopfes um den erforderlichen Winkel von ca. 75° zu erreichen, das Kinn der Brust zu nähern und dem Kopf eine Drehung nach oben zu geben. Nur so wird man Verzeichnungen und Verzerrungen der Zahnbilder vorbeugen. Bei falscher Lichtachse entstehen sehr leicht Fehler, was ja auch begreiflich ist, da wir den Film nicht parallel zu den Zahnwurzeln einlegen können. Er liegt vielmehr im Kiefergewölbe, an welchem die Zähne ihrer Richtung nach tangential stehen.

Ein einfaches Experiment kann uns belehren, wie der Kopf zu liegen hat. Wenn man einen Leuchtschirm unter einen knöchernen Schädel hält, so bemerkt man bei Drehung des ersteren, wie die Zahnwurzeln bald zu kurz, bald unförmig vergrößert und verlängert erscheinen. Einige Versuche werden schnell die richtige Stellung des Schädels zeigen.

Es ist ferner zu erwähnen, daß infolge der bogenförmigen Gestalt des Kiefers auf den fertigen Bildern eigentlich nur 2, höchstens 3 Zähne die natürliche Größe, Form und Stellung haben können. Aus diesem Grunde muß man zur Anfertigung eines den gesamten Kiefer umfassenden Bildes eine Reihe von Filmaufnahmen, welche einander ergänzen, machen.

Bei den Unterkieferaufnahmen ist der Kopf, sofern es sich um die Vorderzähne handelt, ohne Keilkissen vollständig flach mit dem Gesicht nach oben zu lagern. Es wird das Kinn nicht adduziert, sondern im Gegenteil möglichst abduziert. Bei den Eckzähnen findet eine halbe, bei den Prämolar- und Molarzähnen eine vollständige Drehung auf die Seite statt. Die Belichtungsdauer, Richtung der Lichtachse, Röhrenqualität und Abstand sind die gleichen wie bei den Aufnahmen des Oberkiefers.

Während sich die Anlage des Films im Oberkiefer ohne jede Schwierigkeit vornehmen läßt, macht seine Applizierung an den Schneidezähnen des Unterkiefers viele Mühe. Nur durch energisches Hinunterdrücken des an dieser Stelle sehr widerstandsfähigen Mundbodens, wobei man sehr leicht das Zäpfchen unter der Zunge durch den Filmrand verletzt, gelingt es die Zahnwurzeln in ihrer ganzen Ausdehnung zu fassen.

Dieses Eindrücken ist recht schmerzhaft für den Patienten und kann namentlich bei Kindern bedeutende Schwierigkeiten machen.

Man kann die sämtlichen Zahnaufnahmen auch am sitzenden Patienten vornehmen. In der Rückenlage sind indessen die Aussichten für das Gelingen günstigere, da die Röhreneinstellung leichter auszuführen und die absolute Ruhe der Kopflage sicherer zu garantieren ist.

Cieszynski hat für Aufnahmen im Sitzen einen sehr praktischen Apparat konstruiert, welcher durch mechanische Vorrichtungen die Einstellung der Lichtachse erleichtert. Für Zahnärzte, welche im Besitz von geeigneten Operationsstühlen sind, dürfte diese Vorrichtung von großem Nutzen sein.

Film-entwicklung

Das Hervorrufen der Films findet in der üblichen Glyzin-Pottasche-Mischung statt, wobei man darauf zu achten hat, daß die Films während des Schaukelns der Schale nicht aufeinander liegen. Das Entwickeln mittels des elektrisch betriebenen Tisches ist bei Zahnaufnahmen nicht angezeigt, da der Entwickelnde jederzeit die sich übereinander schiebenden Films von neuem wieder trennen muß. Der Prozeß verläuft etwas schneller als gewöhnlich, wird im übrigen aber nach denselben Grundsätzen wie bei den Platten eingeleitet. Man muß beim Hineinlegen der Films in die Lösung, sowie beim Herausnehmen vermeiden, die sehr empfindliche Schicht mit dem Finger zu berühren. Nachdem die Films gründlich ausfixiert sind, kann man sie zunächst naß betrachten, alsdann werden sie auf einer Glasplatte getrocknet und später in der Weise aufbewahrt, daß man sie mit der Schicht auf eine kleine Glasplatte von der Größe $8^1/_2 \times 10$ legt und mit schwarzem Papier fest umklebt. Man erhält so sehr handliche Bilder, die im durchfallenden Licht und unter sorgfältigster Abblendung alles störenden Tageslichtes betrachtet, die Zahnverhältnisse in wunderbarer Klarheit zeigen. Bei der Entwicklung entstehen häufig schwarze Flecke, die unter Umständen nur den einen der übereinander liegenden Films betreffen. Die Ursache für diese, den ganzen Film gleichmäßig durchsetzenden Flecken, habe ich bislang nicht ausfindig machen können. Sie

treten im Gegensatz zu anderen Entwicklungsflecken schon sofort im Glyzinbade auf. Es ist deshalb wesentlich, mehrere Films übereinander zu legen, um für den Notfall brauchbares Reservematerial zu besitzen.

Verstärkungen und Abschwächungen der gut ausgewässerten Films werden in der gleichen Weise vorgenommen wie bei Platten. Da die Abschwächung meist sehr schnell erfolgt, darf man den Film nur kurze Zeit in der Lösung liegen lassen.

Ein in jeder Beziehung technisch tadellos ausgeführtes Bild zeigt die Knochenstruktur des Kiefers in voller Schärfe. Man erkennt so gut wie an vollendeten Handbildern die Knochenbälkchen, ferner die Foramina nutritia im Unterkiefer und die sich vom Knochen abhebende Mundschleimhaut. Die Zahnwurzelkanäle, sowie die Pulpahöhle sind absolut klar. Bei retinierten Zähnen sehen wir die Alveole deutlich.

Es ist von Wichtigkeit zu wissen, daß hinter dem letzten Backzahn der Kiefer eine weitmaschige Struktur zeigt, was allenfalls dazu verleiten kann, hier eine pathologische Auflockerung der Knochensubstanz anzunehmen. Auch der an dieser Seite oft sehr deutliche Hamulus pterygoid. darf nicht als pathologisch angesprochen werden. Ein Blick auf einen skelettierten Oberkiefer erklärt die auf dem Röntgenbild eigentümliche Erscheinung. Der Kiefer ist an dieser Stelle so porös, daß man mit einer Nadel den Knochen leicht durchstoßen kann.

Zahnaufnahme von außen auf Platte

Wie schon erwähnt, ist es mit Schwierigkeiten verbunden, den letzten hinteren Backzahn im Ober- und Unterkiefer deutlich auf den Film zu bringen. Ich ziehe es daher vor, diese Zahnaufnahmen von außen auf Platten zu machen. Hierzu dient die Kompressionsblende, welche in folgender Weise angewendet wird. Der Patient wird auf den Tisch gelegt und der Kopf in vollständige Seitenlage gedreht. Je nach der Breite der Schultern, muß, um die genau horizontale Lagerung des Kopfes in Seitenlage zu ermöglichen, eine Anzahl von Brettern untergelegt werden. Bei Kindern und dünnen Personen wird man keine Bretter brauchen, bei einigermaßen kräftig gebauten Erwachsenen dagegen sind sie erforderlich und zwar meist in solcher Anzahl, daß sie übereinander gelegt etwa 12 cm Höhe haben. Eine Platte 13/18 wird unter die Backe des Patienten geschoben, hierauf wird der Rahmen der Kompressionsblende geschlossen und der Zylinder so über dem Ober- respektive Unterkiefer eingestellt, daß alle zu untersuchenden Partien beim Hineinblicken in das Rohr von oben, ausreichend zu sehen sind (Fig. 144). Die spezielle Stelle, auf welche es in erster

Linie bei der Untersuchung ankommt, wird in die Lichtachse gebracht. Ein dickes Wattekissen wird auf die Backe gelegt und das Kompressionsrohr so weit heruntergedrückt, als der Patient dieses ohne Schmerzen oder Unbequemlichkeiten ertragen kann. Es ist, wie oben erwähnt, zweckmäßig, gegen den Hinterkopf einen schweren Sandsack zu lagern, oder Kopfstützen anzubringen, um ein Ausrutschen nach hinten mit Sicherheit zu verhindern. Der auf diese Weise fixierte Kopf wird absolut still gehalten, wenigstens ist eine Bewegung des Oberkiefers vollkommen ausgeschlossen. (Tafel II.)

Anders ist es beim Unterkiefer, da hier das Kompressionsrohr nur den oberen Teil des ersteren fixiert. Eine Bewegung ist daher immerhin möglich. Um diese zu vermeiden, legt man dem Patienten einen Kork zwischen die Vorderzähne und wickelt eine elastische Gummibinde um Unterkiefer und Kopf, so daß schon allein durch diese Binde jegliche Bewegung ausgeschlossen ist. Es ist sowohl bei Ober- wie bei Unterkieferaufnahmen wichtig, bei geöffnetem Munde zu untersuchen, um Überdeckungen der oberen und unteren Zahnreihe zu vermeiden. Nach vollständig richtiger Einstellung und Kompression wird das die Röhre tragende Blendenbrett, welches vor der Untersuchung mit weicher Handröhre Skala W 6 B W 5 armiert und zentriert worden ist, aufgesetzt und die Aufnahme vorgenommen. Die Exposition hat hier länger zu dauern, da die Strahlen eine größere Dicke von Knochen und Weichteilen, als bei den Aufnahmen vom Munde aus, zu durchdringen haben. Im Mittel wird man mit einer Belichtung von 1—2 Minuten auskommen, K. E. 4 Sek. Sofort nach Schluß der Aufnahme entfernt man das Kompressionsrohr, wodurch der Patient von eventuellen, durch den Druck bedingten Belästigungen, befreit wird.

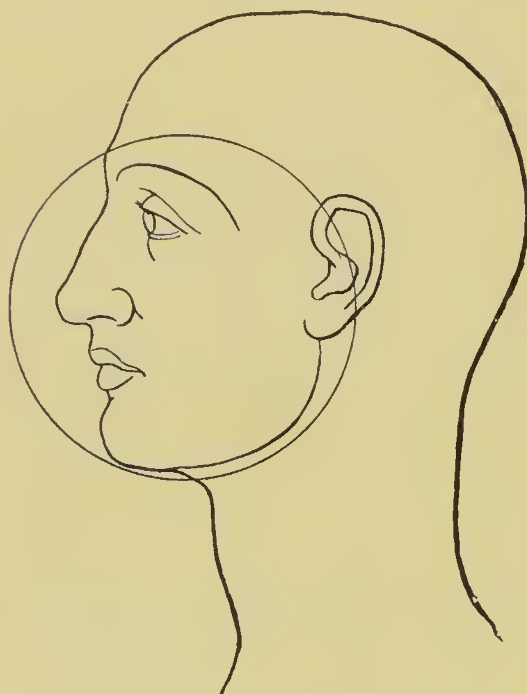
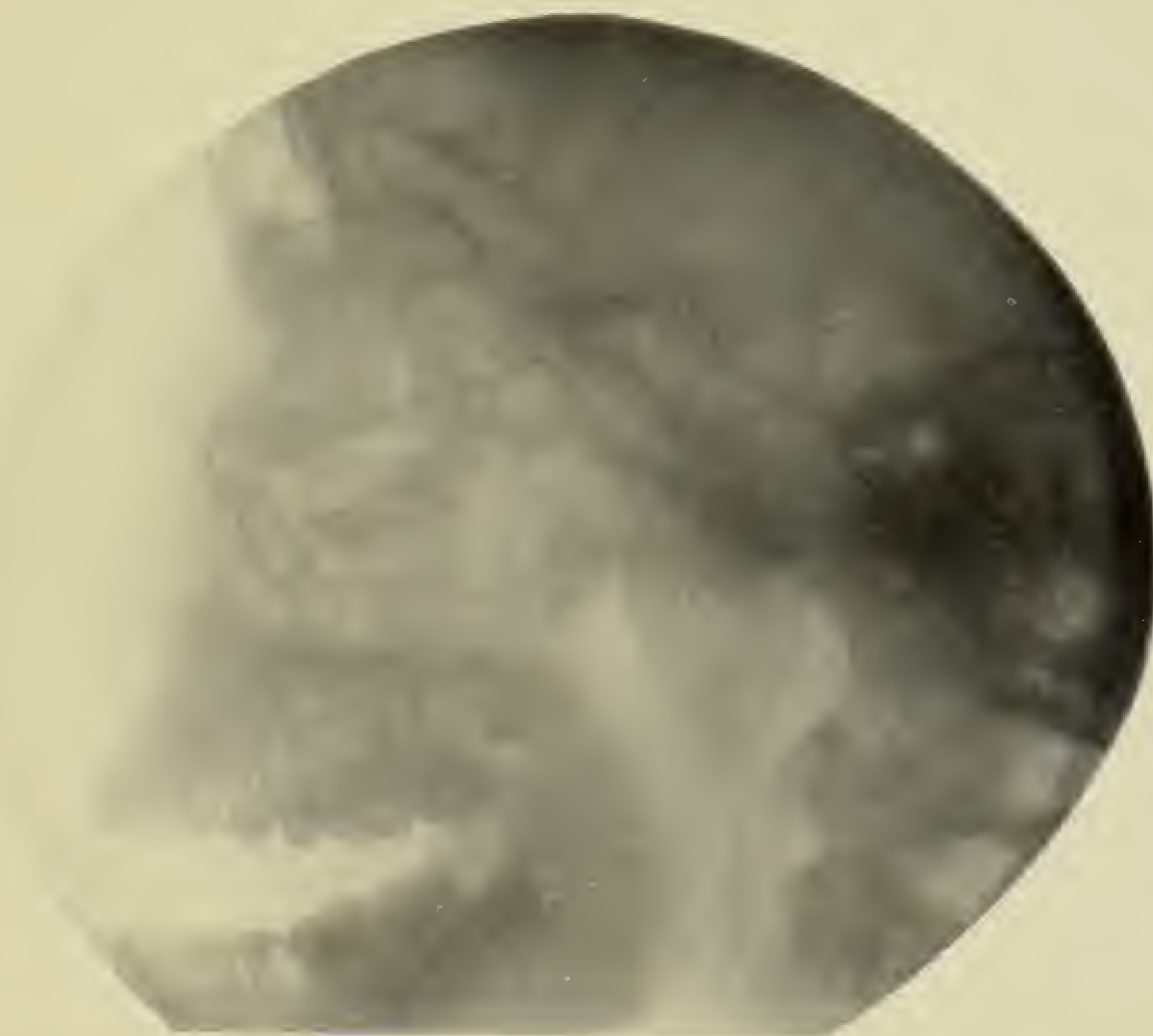


Fig. 144.

Die Aufnahme zeigt alle Details der letzten Molarzähne und des Kiefers, auch die übrigen Zähne, namentlich im Unterkiefer, erscheinen deutlich, wenngleich derartige Feinheiten, wie man sie mit Filmaufnahmen erzielt, nicht zu sehen sind. Man sollte glauben, daß es bei der geschilderten Lagerung des Kopfes störend sein müßte, wenn eventuell die abgewandte Kieferhälfte sich auf der




BRITISH MEDICAL
Library
ASSOCIATION

Platte mit abzeichnen würde; dies ist aber nicht der Fall, da die Zähne der entfernteren Seite sich nur undeutlich markieren und ihre Konturen in den scharfen Strukturdetails der nahen Seite untergehen und den Beschauer wenig oder gar nicht stören. Selbstverständlich ist bei Aufnahmen des Ober- und Unterkiefers auch das Antrum auf der Platte vorhanden, so daß man beispielsweise bei Fisteln, welche in dasselbe führen, metallene Sonden, die in den Kanal hineingeschoben worden sind, darstellen kann.

Fisteldarstellung

Fisteln kann man in ihrem Verlauf sehr schön in der Weise deutlich machen, daß man Wismutaufschwemmungen oder einen feinen Draht in dieselben einführt und letztere in ihrem Verlauf auf dem Röntgenbild verfolgt.

Stereoskopie der Zähne

Stereoskopische Zahnaufnahmen sind namentlich zur Tiefenbestimmung bei retinierten Zähnen brauchbar. Die Aufnahmetechnik ist einfach. Bei der ersten Aufnahme befindet sich die Lichtachse $3^1/_2$ cm rechts seitlich, bei der zweiten $3^1/_2$ cm links seitlich von der zu untersuchenden Kieferpartie. Da nach der ersten Aufnahme der Film gewechselt werden muß, so hat man auf die sichere Festlagerung des Kopfes besonders zu achten. Die fertigen Films werden so auf eine Glasplatte 13×18 aufgeklebt, daß je zwei korrespondierende Punkte 7 cm auseinanderstehen. Die Betrachtung erfolgt im durchfallenden Lichte mittels eines amerikanischen Stereoskops. Man erkennt die überaus plastisch dargestellte Wölbung des Kiefers und kann die Vor- resp. Hintereinanderlagerung der Zähne auf das beste beurteilen.

Methode Brautlecht

Kiefergelenk

Das Unterkiefergelenk bietet für die röntgenographische Darstellung manche Schwierigkeiten, weil sehr leicht die Gelenke der beiden Schädelseiten aufeinander projiziert werden. Nach dem Vorschlag von Brautlecht, welcher einen zweckmäßigen Apparat für die Aufnahme des Kiefergelenkes angegeben hat, durchstrahle ich den Kopf bei Seitenlage in schräger Richtung, so daß die Lichtachse durch die Mitte des Os parietale der abgewandten Seite und durch das darzustellende Kiefergelenk geht. Bisweilen erhält man auch ein brauchbares Bild des Gelenkes, wenn man die Lichtachse so auf das Hinterhaupt einstellt, daß das Kiefergelenk noch gerade in den Lichtkreis des Zylinders hineinfällt. Luxationen im Gelenk, kariöse Prozesse, Collumfrakturen des proc. condyloideus u. a. m. kann man auf diese Weise klar zur Anschauung bringen. (Tafel II.)

Manchmal bekommt man das Kiefergelenk sehr schön zu Gesicht bei Einstellung auf den Hals, so daß das Gelenk noch gerade in den Beleuchtungskreis hineinfällt. Je nach dem anatomischen Bau des Schädels muß man empirisch die beste Einstellung herausfinden.

16. Kapitel.

Die Hals- und Brustwirbelsäule, die Rippen und das Sternum.

Halswirbelsäule

Es schließt sich an die Untersuchung des Schädels die der Halswirbelsäule an. Da man bei Aufnahmen des Hinterhauptes in Seitenlage schon einen Teil der obersten Halswirbelsäule mit auf der Platte erhält, so ist der erste und zweite Wirbel, wenn wir als Einstellungspunkt den Processus mastoideus wählen, deutlich dargestellt. Der Atlas ist an seiner charakteristischen Form, der Epistropheus ebenfalls kenntlich. Man sieht den gabelförmig gespaltenen Proc. spinosus des letzteren. Wird die Einstellung noch etwas tiefer gewählt, so kann man fast die ganze Halswirbelsäule bei Seitenlage gut auf die Platte bringen (Tafel III, Fig. 1). Je genauer die Lage des Patienten fixiert ist und je sachgemäßer man versteht, die Blende anzuwenden, um so besser wird man Einzelheiten an der Halswirbelsäule erkennen. Der Körper des Wirbels, der untere und obere Gelenkfortsatz, der Dornfortsatz, markieren sich ausgezeichnet. Besonders wichtig ist es, gut einzustellen, damit die Wirbelkörper und die zwischen ihnen liegenden Wirbelscheiben, letztere als Spalten, deutlich zur Geltung kommen, denn bei einzelnen Krankheiten, wie kariösen Prozessen des Wirbelkörpers oder bei syphilitischen Affektionen findet eine Deformierung desselben statt, welche sich entweder durch Ausfall von Bestandteilen des Körpers, wodurch er wie angenagt und zerfressen aussieht, oder durch osteosklerotische Verdickungen bemerkbar macht. Bei Aufnahmen der Wirbelsäule beachte man genau die Proc. spinosi.

Wirbelbogen Erkrankung

Wenn es sich um Erkrankung des Wirbelbogens handelt, so verschwinden diese Proc. spinos. zuerst. Solche Diagnosen sind äußerst dankbar, da sie eine exakte Lokalisation einer Wirbelerkrankung zulassen.

Trachea

Außer den Wirbeln sieht man dann einen hellen Strich, welcher der Trachea entspricht und gleichzeitig die Lage für den nicht sichtbaren Ösophagus angibt. Diese Partie zu untersuchen, kann in Betracht kommen, wenn es sich um den Nachweis von Fremdkörpern, verschluckten Gebissen usw. handelt.

Kehlkopf

Außerordentlich schön läßt sich auch in Seitenlage der Kehlkopf röntgenographisch darstellen. Das Zungenbein mit seinen verschiedenen Hörnern, sowie die Cartilago thyreoid. und die Cartilago cricoidea markieren sich unter Umständen so scharf, daß man

das obere und das untere Horn zu unterscheiden imstande ist. Auch die Epiglottis sieht man. Mit weichen Röhren kann man die ganze Zungenwurzel, den Pharynx, unter Umständen sogar die Stimmbänder darstellen. Die Kehlkopfaufnahmen sind indessen nicht in

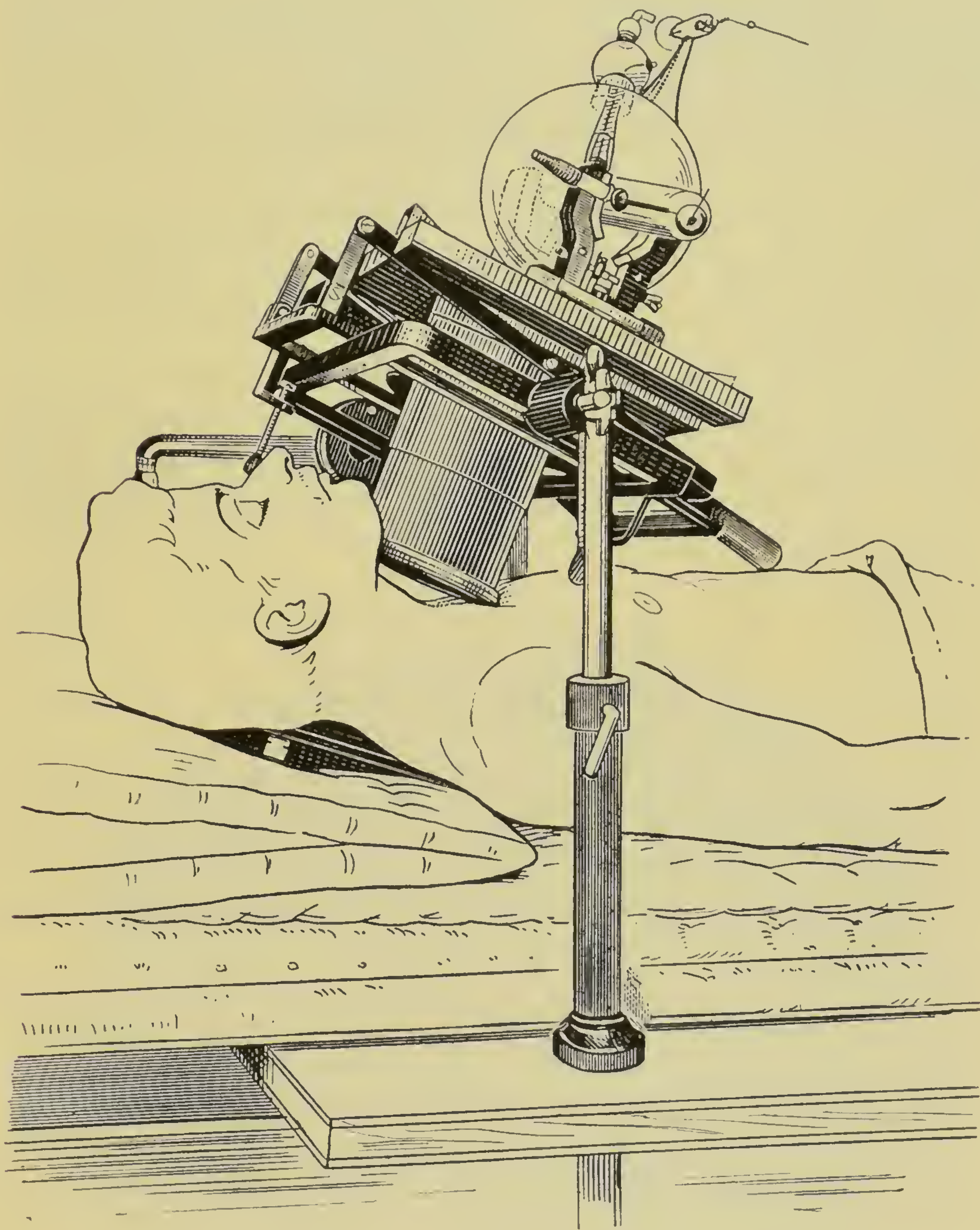


Fig. 145.

allen Fällen möglich, namentlich werden sie bei jüngeren Individuen auf Schwierigkeiten stoßen. Untersuchungen über Kehlkopfverknöcherungen sind mit Erfolg gemacht und publiziert worden (Scheier, Simmonds, Eugen Fraenkel[1]) und andere). Ferner

Verknöcherungen des Kehlkopfes

[1]) Fortschritte a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, Band XII.

ist auf die Arbeiten von Eijkman[1]) hinzuweisen. Bislang kommt eine diagnostische Bedeutung diesen Untersuchungen nur in Fällen von Fremdkörpern oder beim Nachweis frühzeitiger Verknöcherungen zu.

Bei Aufnahmen in Rückenlage umklammert man zweckmäßig den Kehlkopf mit einer großen Pinzette, die während der Aufnahme liegen bleibt. Die sich auf der fertigen Platte deutlich abhebenden Schenkel der Pinzette gestatten eine genaue Lokalisierung des Larynx, die differential diagnostisch von Nutzen sein kann.

Gleichzeitig mit dem Kehlkopf erhält man die Gegend der Glandula submaxillaris, welche als Sitz von Speichelsteinen ein diagnostisches Interesse hat. Auch Verkalkungen der Carotis kann man in geeigneten Fällen konstantieren.

Die Untersuchung der Halswirbelsäule in Rückenlage findet so statt, daß Patient mit hochgehobenem Kinn und gesenktem Hinterhaupt auf die Kassette gelegt und mit Sandsäcken fixiert wird. Hier ist es besonders wichtig, exakt mit der Kompressionsblende zu arbeiten, da die Strukturverhältnisse der Halswirbel sich in dieser Stellung weniger gut markieren als in der Seitenlage. Der Zylinder (13 cm) wird in schräger Stellung wie Fig. 145 zeigt, so eingestellt, daß das Kinn auf dem Zylinderrande ruht. Die Stellung muß sehr schräg sein, da sonst der oberste Halswirbel nicht auf die Platte kommt. Der Dens des Epistropheus, sowie der Wirbelkanal markieren sich durch den Schatten des hinteren Schädeldaches hindurch. Die Belichtungszeit beträgt ca. 2 Minuten, K. E. 2 Sek. Diese Untersuchungen kommen bei Luxationen zur Feststellung von Lageveränderungen der Wirbelsäule nach der Seite in Betracht.

In seltenen Fällen, besonders wenn es sich um die Untersuchung des Gelenkes zwischen Atlas und Epistropheus handelt, empfiehlt es sich, die obersten Wirbel, welche häufig durch den Kinnschatten verdeckt werden, bei Rückenlage durch den Mund zu untersuchen. (Tafel III, Fig. 2.) Zu diesem Zweck werden die Zähne durch einen zwischen dieselben gesteckten Kork auseinander gehalten und die Blende genau auf den geöffneten Mund eingestellt (Fig. 146).

Arthritische Veränderung am Atlas und Epistropheus

Ich konnte in einem Fall ins Gebiet der Bechterewschen Krankheit fallende Spangenbildung zwischen Atlas und Epistropheus nachweisen.

Ausgezeichnete Bilder erhält man in Bauchlage des Patienten. Der Kranke wird mit dem Oberkörper so auf ein Keilkissen gelagert, daß das Kinn über den oberen Rand desselben hinüber-

---

[1]) Fortschritte a. d. Geb. d Röntgenstrahlen, Band V und VII.

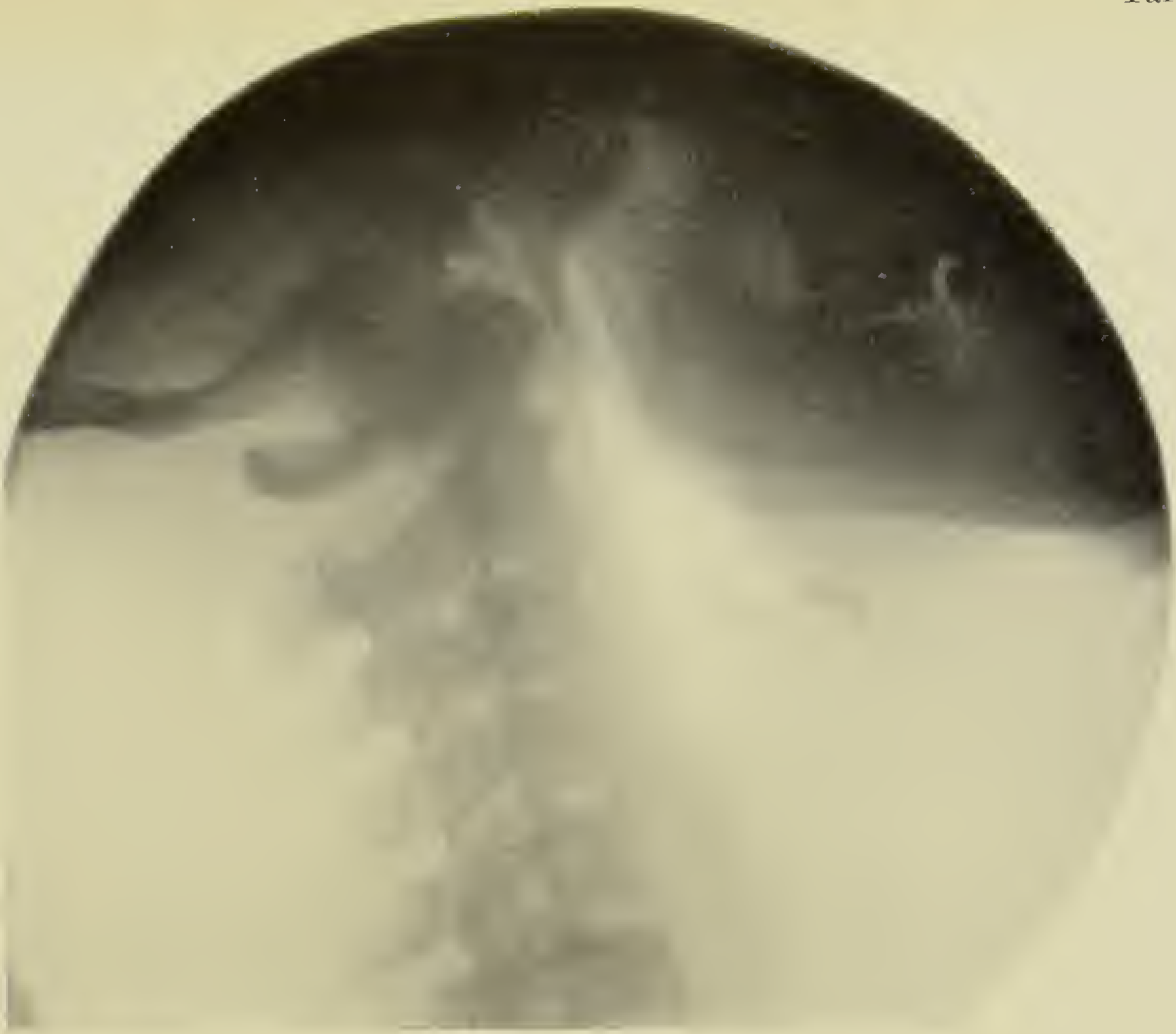


Fig. 1.



Fig. 2.

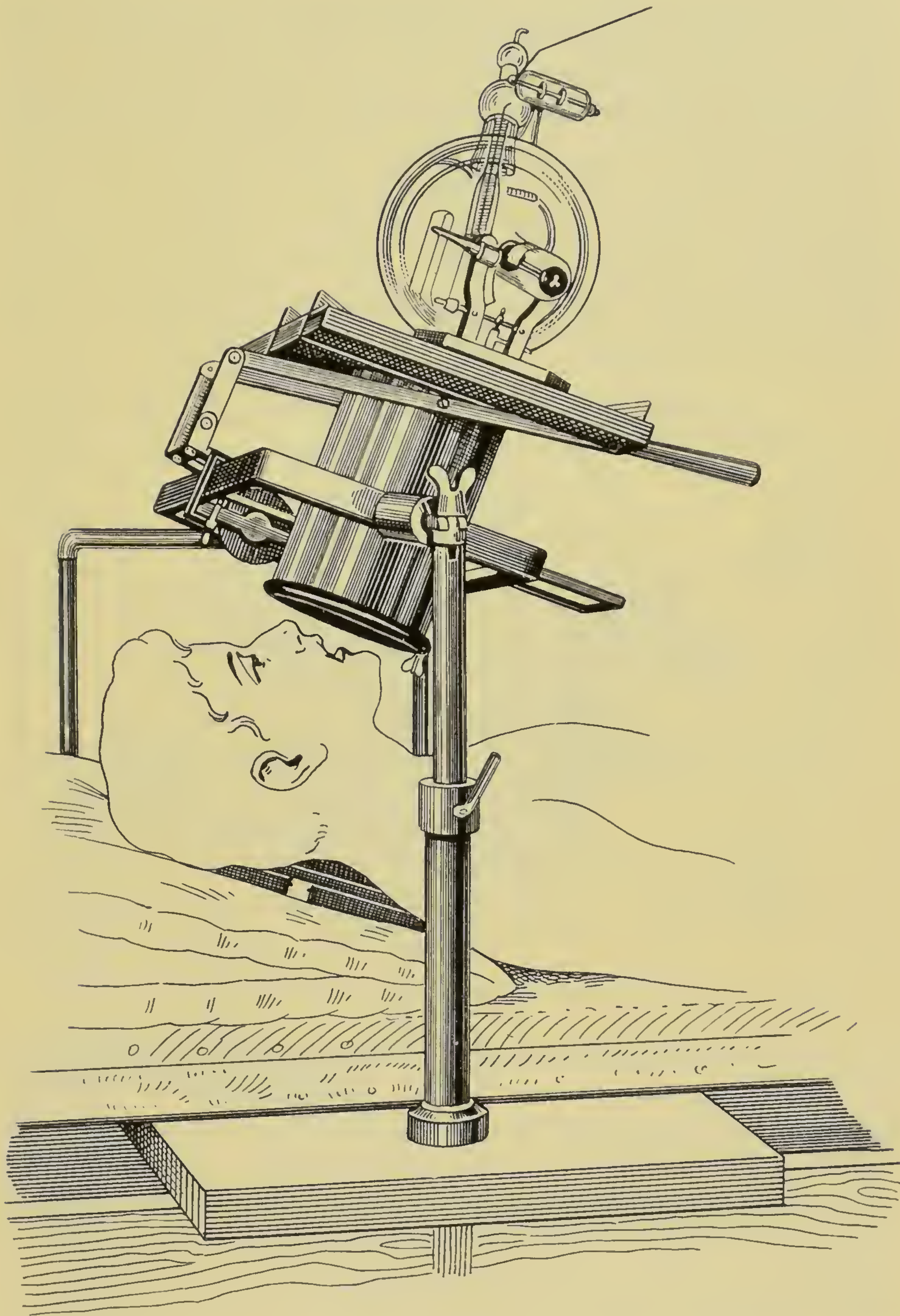


Fig. 146.

ragt. Der Kompressionszylinder (13 cm) wird mit leichtem Druck auf den Nacken aufgesetzt.

Die diagnostische Bedeutung der Platten ist indessen im Vergleich zu den in Seitenlage gemachten nur gering, da die Details nicht besonders schön in dieser Stellung darzustellen sind.

Halswirbelsäule

In Seitenlage erfolgt die Untersuchung der obersten Halswirbel mittels Kompressionsblende bei Schrägstellung des Zylinders. (Fig. 147, 148 und Tafel III, Fig. 1). Zur Darstellung des Atlas und Epistropheus wird der Kopf gerade gerichtet. Man vermeide das Hinterhaupt nach hinten zu neigen, da sonst Atlas und Occiput in Deckung kommen. Der Unterkiefer soll sich gegen den Zylinder anstemmen. Handelt es sich um die tieferen Halswirbel, so wird der Zylinder senkrecht eingestellt. Liegt der Hals des Patienten nicht absolut horizontal, sondern infolge der Lagerung auf einem Keilkissen schräge, so muß auch bei der Darstellung der tieferen Partien die schräge Lagerung durch Schrägstellung des Zylinders ausgeglichen werden, so daß in letzterem Falle die Lichtachse senkrecht auf der Platte steht.

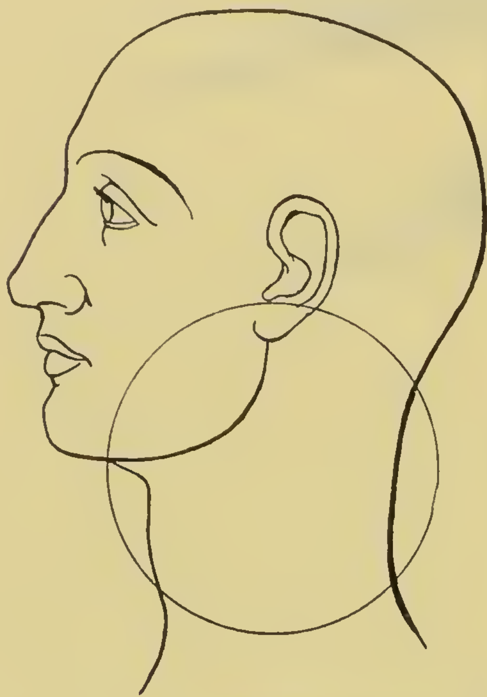


Fig. 147.

Die untersten Halswirbel dürften ein besonderes Schmerzenskind der Röntgenographie sein, da sie wenn es sich um kurzhalsige Individuen handelt, in Seitenlage nicht auf die Platte zu bringen sind. Die Anlage der Kassette stößt bei solchen Personen auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Man wird also darauf angewiesen sein, hier mit Aufnahmen in Rückenlage vorlieb zu nehmen.

Brustwirbelsäule

Recht ungünstig verhält sich die Brustwirbelsäule, welche namentlich bei Erwachsenen in den Partien, welche vom Herzschatten überdeckt sind, nur kontrastschwache Bilder gibt. Die obersten, sowie der 10., 11. und 12. Brustwirbel, können, soweit sie nicht im Bereich des Herz- und Gefäßschattens liegen, dargestellt werden. Seitliche Aufnahmen der Brustwirbelsäule lassen sich mittels der teleröntgenographischen Technik in zufriedenstellender Weise herstellen. Hierauf wird bei Besprechung der Teleröntgenographie zurückzukommen sein. Leichter ist die Technik bei Kindern, welche es uns infolge ihrer geringeren Dicke ermöglichen, selbst durch den Herzschatten hindurch in Rückenlage gute Bilder zu erzielen. Bei richtiger Wahl der Röhre (Skala W 6 BW 5) und guter Einstellung der Blende kann man von der kindlichen Wirbelsäule wohl in ihrer ganzen Ausdehnung genügende Platten erhalten. Es ist unter Umständen sehr leicht, eine spondy-

litische Veränderung der Wirbelkörper nachzuweisen. Auch Exsudate und Abszesse in der Nähe der Wirbel markieren sich. Schon die äußere Untersuchung der auf Spondylitis verdächtigen Kinder gibt einen Anhalt für den in Betracht kommenden Wirbelkörper. Man Spondylitis

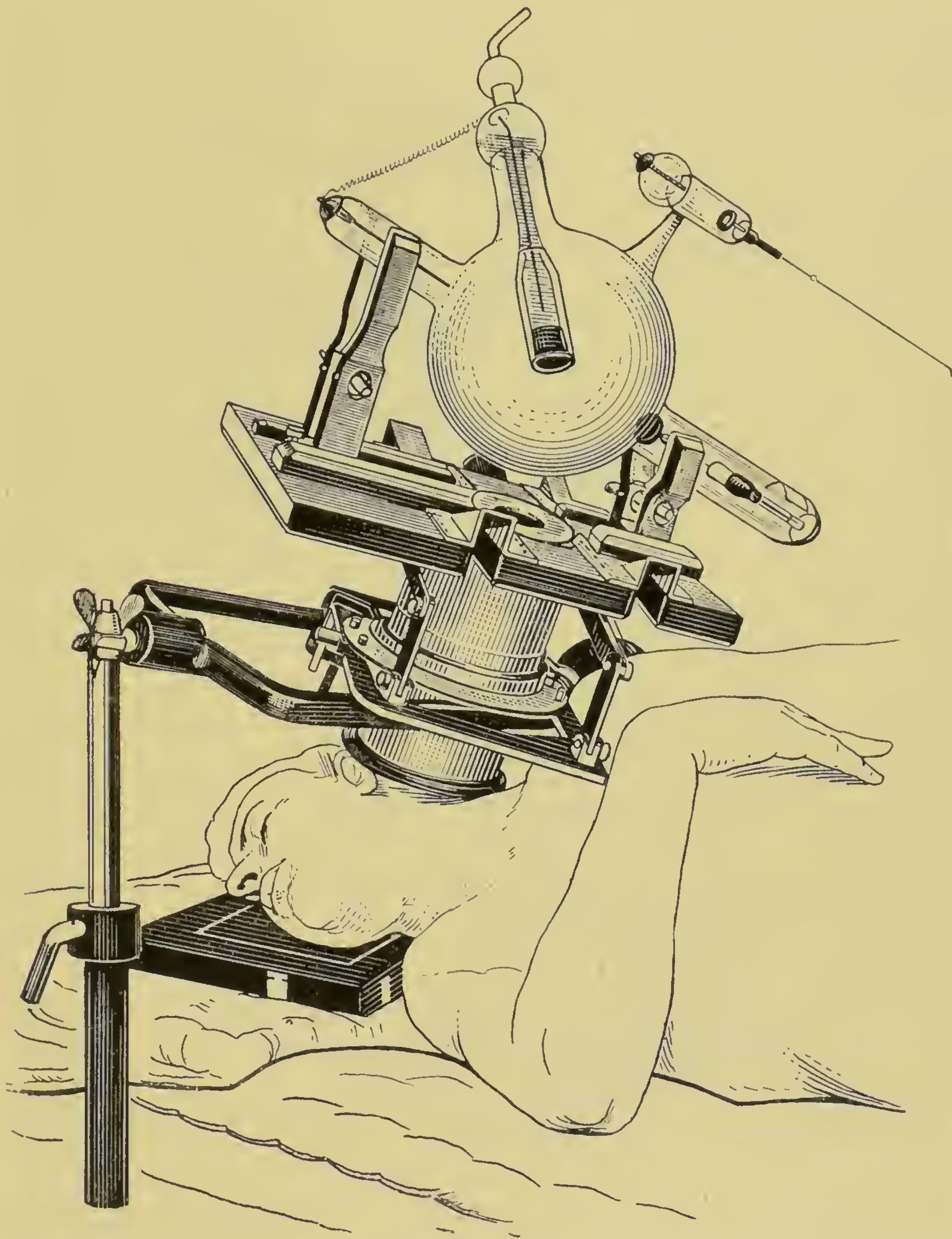


Fig. 148.

wird sich dann nur darauf zu beschränken haben, diese Stelle genau mittels der Kompressionsblende einzustellen. Die Kastenblende ist hier sehr zu empfehlen. Man nehme, um Details herauszubringen, das obere Diaphragma möglichst eng.

Brustwirbelsäule in schräger Aufnahmerichtung

Die einzige Möglichkeit, die Brustwirbelsäule des Erwachsenen unter günstigeren Umständen darzustellen, besteht darin, daß man den Patienten in schräger Richtung röntgenographiert. Hierdurch kommen zwar die Wirbel in einer seitlich verschobenen Projektion auf die Platte, so daß man die Querfortsätze nicht in der richtigen Lage sieht. Immerhin ist es möglich, über die Konturen einen Eindruck zu gewinnen. Man legt den Patienten in Rückenlage und stellt das Kompressionsrohr in schräge Richtung, indem man die beiden seitlichen Pfeiler vollständig herunterläßt und den gegenüberliegenden auf den höchsten Punkt einstellt, wodurch eine Schrägstellung leicht zu ermöglichen ist. Die Exposition beträgt mit einer mittelweichen Röhre (W 7 BW 6) 2 Minuten, K. E. 12 Sekunden, bei korpulenten Personen selbstverständlich mehr.

Rippen

Die Untersuchung der Rippen geschieht in der Weise, daß man bei Aufnahme der hinteren Partien den Patienten in Rückenlage, bei Aufnahme der vorderen in Bauchlage bringt. Die hinteren Teile der Rippen markieren sich bei Anwendung weicher Röhren und kurzer Expositionsdauer zwischen 1—2 Minuten, K. E. 2 Sek., bei minderstarken Menschen meist sehr deutlich. Man erkennt das Kapitulum, sowie das Tuberkulum und das Collum, desgleichen das Gelenk am Proc. transversus des Wirbels. Spangenbildungen und Verknöcherungen werden hier nachgewiesen, desgleichen sind, ebenso wie Tumoren, Frakturen der Rippen von der Rückseite darzustellen. Es glückte mir Carcinom-Metastasen bei einem primären Mamacarcinom, ferner tuberkulöse Herde mit zahlreichen Sequestern, einwandsfrei zu röntgenographieren. Weniger gut fallen die Bilder in Bauchlage aus, da hier die Atmung leicht zu Unschärfe Anlaß gibt. Zu achten ist auf die Knochenknorpelgrenze, welche sich meist deutlich markiert. Die knorpeligen Partien der Rippen lassen sich nicht darstellen, es sei denn, daß dieselben verknöchert wären (vgl. Kapitel „Nierensteine“). Frakturen, welche in der Axillarlinie liegen, stellt man am besten durch Trochoskopaufnahme dar. Die Lichtachse muß hierbei senkrecht auf der Mammillarlinie in der Gegend, wo die Fraktur vermutet wird, stehen. Frakturen, der beiden letzten Rippen werden in der „ersten typischen Nierensteinstellung“ untersucht. Da beim Steinnachweis die exakte Darstellung der 11. und 12. Rippe erforderlich ist, so kann auf das diesbezügliche Kapitel verwiesen werden. Die Technik ist sehr einfach, da man meist größere Bezirke auf einmal zu überblicken gezwungen ist. Überzählige Rippen, Hals- und Lendenrippen, lassen sich natürlich mit Leichtigkeit nachweisen.

Trochoskop Aufnahmen der Rippen

Die Untersuchung des Sternum stößt mit den üblichen Methoden auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Es liegt dieses daran,

daß der sehr dünne Knochen des Brustbeines durch den intensiveren Wirbelsäulenschatten überdeckt wird und somit, um sich auf der Platte mit Strukturdetails abzuzeichnen, nicht genügend durchstrahlt werden kann. Eine Blendenanwendung nützt hier wenig, da man nur ein durch das Brustbein hindurch projiziertes Bild der Wirbelsäule erzielen würde. Will man daher auf die

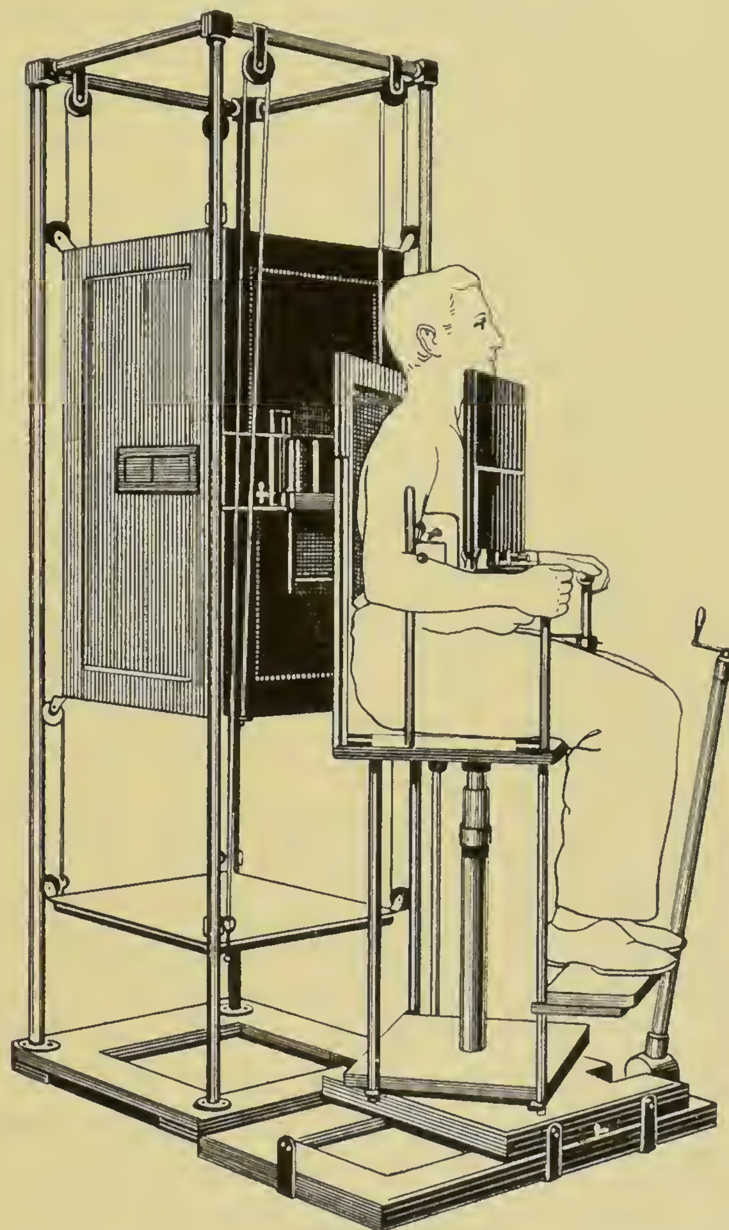


Fig. 149.

Sternum

Darstellung des Sternum nicht verzichten, so wird man sich anderer Durchleuchtungsrichtungen als der üblichen senkrechten bedienen müssen. Hier empfiehlt es sich, die Aufnahme im schrägen Durchmesser zu machen, so daß man die Strahlen das Sternum von *links hinten* nach *rechts vorn* oder von *rechts hinten* nach *links vorn* durchdringen läßt. Die letztere Richtung ist die vorteilhaftere. Auf diese Weise erzielt man eine Verschiebung der Wirbelsäule und

des Sternum in einander entgegengesetzten Richtungen. Während z. B. beim Strahlengang von *links hinten* nach *rechts vorn* der Wirbelsäulenschatten als der der Lichtquelle am nächsen gelegene, nach der rechten Seite des Patienten ausweicht, tritt der Sternumschatten, als der der Lichtquelle abgewendete Teil, in die linke Seite des Kranken. Getrennt werden beide Schatten durch das bekannte helle Mittelfeld. Man macht die Aufnahme am besten bei sitzendem Patienten vor der Bleikistenblende und zwar in der Stellung wie in Fig. 149 abgebildet. Hier eignet sich die Aufnahme mit abgekürzter Expositionszeit wegen des leicht zu erreichenden Atemstillstandes besonders gut. Stellung des Kranken und Belichtungszeit decken sich ungefähr mit der Oesophagusaufnahme, nur muß man den Kranken noch schräger einstellen als bei der Speiseröhrenuntersuchung. Ist die Aufnahme gelungen, so zeigt sie das Manubrium und das Corp. sterni deutlich. Man erkennt den Spalt zwischen beiden. Ferner kommt das Sterno-Claviculargelenk der der Platte anliegenden Thoraxhälfte zum Ausdruck. Man kann hier Tumoren, eventuell auch Gummata nachweisen. Auch sind Auftreibungen des sternalen Schlüsselbeinendes zu sehen und zu messen. Am Corp. sterni sieht man die Incisuren, an denen die knorpeligen Teile der Rippe ansetzen. Das sternale Ende der Clavicula ist an der der Schirmblende abgewendeten Körperseite schwach sichtbar. Will man also das Claviculargelenk rechts und links röntgenographieren, so hat man diese Aufnahme zweimal, von rechts und von links hinten zu machen. Struktur zeigt das Sternum bei Atemstillstand in genügender Weise. Natürlich kann man nicht verlangen, daß dieselbe hier ebenso schön und prägnant zum Ausdruck kommt, wie an anderen Körperpartien, jedoch ist das Bild zur Stellung der Diagnose meist scharf genug. Die Indikationen für diese Untersuchung sind an Zahl gering, es kommen wohl vorwiegend Auftreibungen des sternalen Claviculaendes (Gummata), sowie Tumoren am Manubrium oder Verletzungen in Betracht.

Mit der Kompressionsblende wird die Aufnahme in Bauchlage des Patienten gemacht. Die Platte wird unter das Sternum gelegt. Um zu vermeiden, daß der Wirbelsäulenschatten sich mit dem Sternalschatten deckt, wird ähnlich wie bei Schulteraufnahmen (siehe daselbst) das Stativ schräg eingestellt. Zweckmäßig benutzt man den Stereoskopzylinder, um diese Einstellung durch Schräglagerung des Zylinders noch schräger gestalten zu können. Der untere Hartgummiring des Zylinders steht auf dem Schulterblatt des Patienten. Auch das Trochoskop (siehe unten) läßt sich zu dieser Aufnahme benutzen, wobei besonders darauf zu achten ist, daß der Kranke möglichst schräg gelagert wird.

---

17. Kapitel.

Die Lendenwirbelsäule.

Lendenwirbelsäule

Früher hat die Darstellung der Lendenwirbelsäule zu den unerfreulichsten Aufgaben der Röntgenographie gehört. Im Anfang war man überhaupt nicht imstande, bei Erwachsenen dieselbe zu sehen, und erst nach und nach wurde in dieser Richtung ein kleiner Fortschritt gemacht. Der Grund ist auf der Hand liegend. Es handelt sich bei diesen Aufnahmen darum, durch die ganze Dicke des Leibes hindurch die knöchernen Partien der Wirbelsäule darzustellen. Verfährt man in der früher allgemein üblichen Weise der Aufnahme ohne Blende, so entstehen auf dem Wege durch das Abdomen so erhebliche Massen entogener Sekundärstrahlen, daß die Platte stark verschleiert und von der Wirbelsäule wenig oder gar nichts mehr zu sehen ist. Die Dicke des zu durchstrahlenden Körpers erfordert harte Röhren, wodurch man wieder die Sekundärstrahlen zum Nachteil der Aufnahme wesentlich vermehrt. Mit weichen Röhren ist hier nichts anzufangen. Es sind Versuche mit Belichtungen aus nahen Entfernungen mit außerordentlich langen Expositionszeiten, bis zu $^1/_2$ Stunde und darüber gemacht worden, erreicht wurde aber außer schweren Hautverbrennungen absolut nichts. Es ist eine erst spät erkannte Tatsache, daß einerseits weiche, kontrastreiche Röhren, welche imstande sind, gute Strukturzeichnungen zu geben, nicht durch derartig dicke Objekte, wie das menschliche Abdomen, hindurchdringen und wäre die Expositionszeit noch so lang, andererseits die Strahlen einer harten Röhre wohl den Körper passieren, aber keine Zeichnungen der Knochen hervorbringen können. Diesem Übelstand abzuhelfen, war während einer Reihe von Jahren das allgemeine Bestreben. Natürlich wurde auch hier wieder das Blendenverfahren in erster Linie herangezogen und man begann, in der verschiedensten Weise zu untersuchen. So wurden Bleidiaphragmen direkt auf den Leib gelegt, ferner die von Walter angegebene Bleikiste benutzt, welche theoretisch gewiß viele Vorteile hat, praktisch aber unhandlich war.

Im Interesse der exakten Aufnahme der Lendenwirbelsäule gebe ich dem Kompressionsblendenverfahren vor allen anderen Methoden den Vorzug. Es ist zunächst zu bemerken, daß man bei keinem Aufnahmeverfahren mehr als zwei Wirbel zurzeit perspektivisch richtig röntgenographieren kann. Wenn auch mehr

Wirbelkörper auf der Platte zu sehen sind, so kann man doch nur diejenigen zwei, auf welche man eingestellt hat, als anatomisch richtig dargestellt betrachten. Die anderen haben bezüglich ihrer Lage eine geringe Verzeichnung erlitten, welche sich darin dokumentiert, daß die zwischen zweien von ihnen gelegene Bandscheibe nicht mehr als deutlicher Spalt erscheint, sondern daß Teile eines der Wirbel bereits über sie hinüber projiziert worden sind. Diese perspektivische Verzeichnung der Zwischenwirbelscheiben wird sich stets gleich bleiben, ob man eine Blende anwendet, oder ob man ohne dieselbe arbeitet. Schon aus diesem Grunde sollte man von vornherein davon Abstand nehmen, die Lendenwirbelsäule auf eine große Platte bringen zu wollen, sondern sie im Interesse der exakten Darstellung nur in einzelnen kleinen Bildern röntgenographieren. Wir bedürfen für die Aufnahme der fünf Lendenwirbelkörper ***3 typischer Stellungen.*** Auf jeder derselben werden die Zwischenwirbelscheiben als Spalten erscheinen, was dann von ganz besonderer Wichtigkeit ist, wenn es sich um pathologische Veränderungen in dieser Gegend, Knochenspangen, Exostosen, Synostosen, Ankylosen, Verknöcherungen, Bechterewsche Krankheit usw. handelt. Besondere Aufmerksamkeit ist im letzteren Falle der meist am schwersten ergriffenen rechten Seite der Wirbelsäule zu widmen. Die Wirbelkörper müssen so scharf dargestellt werden, daß man Veränderungen in den kleinen Wirbelgelenken, ferner Osteoporose der Wirbelkörper und Verknöcherungen der Ligamenta apicum erkennen kann. Verbreiterungen[1]) der Intervertebralscheiben oder senile Degeneration derselben sind röntgenologisch gut nachweisbare Zustände. Die Darstellung der Zwischenwirbelscheiben zwischen 4 und 5 Lendenwirbel ist sehr erschwert durch die physiologische Haltung der Wirbelsäule. Die oberen und unteren Gelenkfortsätze werden übereinander projiziert, so daß hier eine scheinbare Verbindung zwischen zwei Wirbelkörpern vorgetäuscht wird. Will man die Zwischenwirbelscheiben wenigstens einigermaßen deutlich erkennen, ebenso wie die Struktur und die Lage der Gelenkfortsätze, so muß die Blende sehr tief eingestellt werden, so daß das Kreuzbein in die Mitte des Belichtungskreises fällt, alsdann erhält man am oberen Blendenrande die beiden Wirbel und den Wirbelspalt im allgemeinen deutlich.

Wir beginnen zunächst mit dem oberen Teile der Lendenwirbelsäule, dem ersten und zweiten Wirbel ***(1. typische Stellung)***. Patient wird mit dem Rücken auf die zwischen den Stativen liegende Matratze

---

[1]) Anm. Die Kranken ermüden leicht im Sitzen und klagen über heftige Rückenschmerzen, welche sie an der Arbeit hindern. Die Therapie wird erfolgreich durch Stützkorsette eingeleitet.

gelegt. Die Schultern werden durch ein Keilkissen in die Höhe gehoben und der Kopf mittels einer Nackenrolle der Brust genähert. Sodann werden, namentlich bei Patienten, welche eine Lordose haben, die Beine in die Höhe gezogen und unter die Knie ein

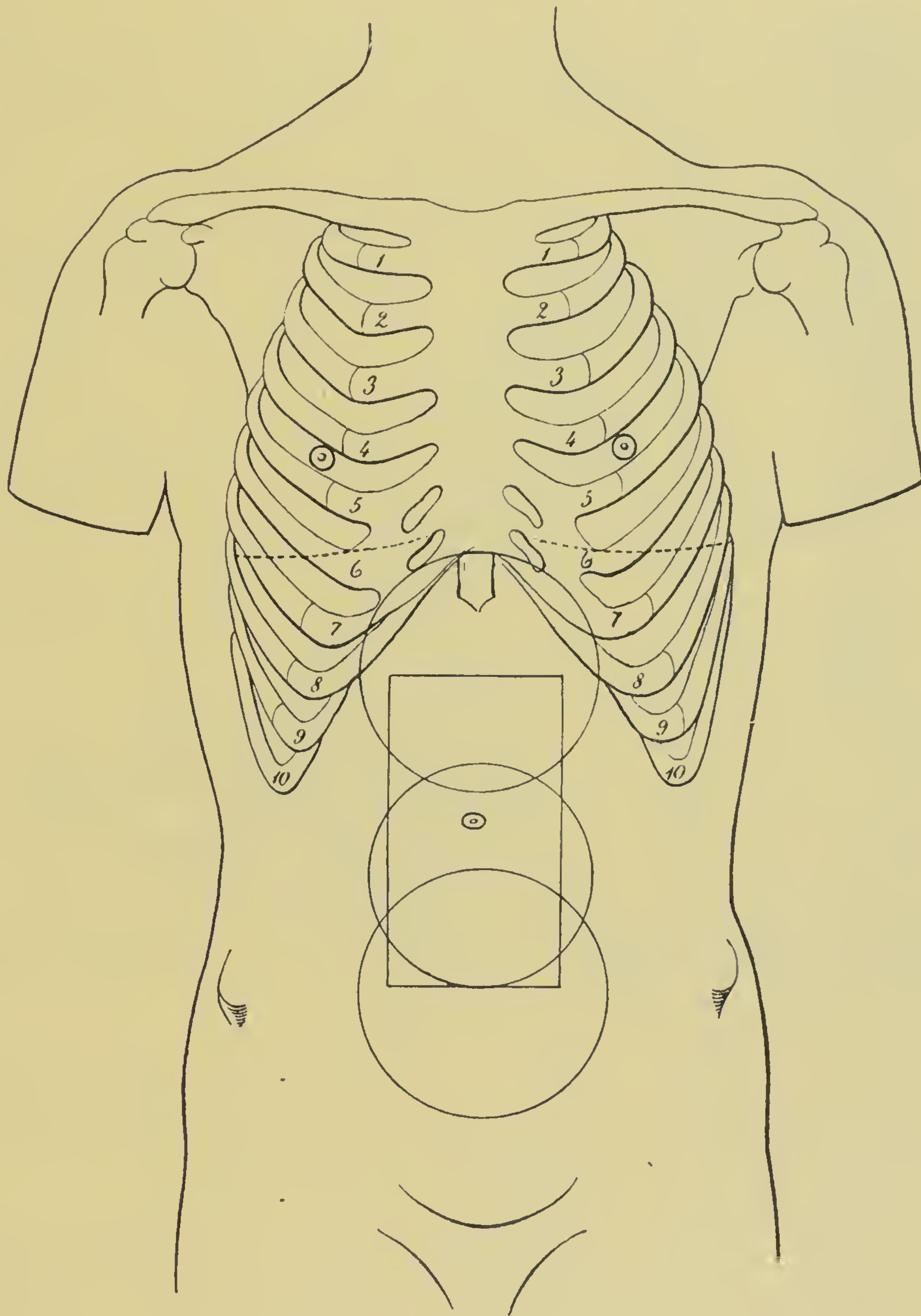


Fig. 150.

Bock geschoben, auf welchem die letzteren mittels einer Schraubvorrichtung, zur Vermeidung seitlicher Bewegungen, festgeschroben werden können. Nachdem eine Platte vom Format 18/24 untergelegt worden ist, wird die Kompressionsblende geschlossen und das zylinderförmige Rohr so auf die Bauchhaut aufgesetzt, daß die

Lichtachse senkrecht auf der Mittellinie des Körpers steht, daß ferner der obere Rand der unteren Rohrapertur dem proc. ensiformis aufliegt (Fig. 150). Nunmehr wird das mit einer mittelweichen Röhre (W 7 B W 6) versehene Blendenbrett auf den Zylinder gesetzt und eine leichte Kompression der Bauchdecken ausgeübt.

In gleicher Weise findet die Aufnahme der nächsten Wirbelkörper statt, indem wir mit dem Kompressionsrohr soweit abwärts gehen, daß der obere Rand desselben jedesmal etwas oberhalb der Stelle steht, wo sich bei der vorherigen Aufnahme der untere Rand befunden hatte. (*2. u. 3. typische Stellung,* Fig. 150.)

Wie weit man in den einzelnen Fällen komprimieren kann, wird außerordentlich verschieden sein. Einzelne Patienten ertragen Kompressionen von 5—8 Zentimetern, andere klagen schon bei 2—3 Zentimeter tiefem Eindrücken. Je nach der Toleranz der Kranken wird also das Rohr mehr oder weniger weit eindringen können und danach auch die Qualität des zu erwartenden Bildes ausfallen. Nachdem der höchste Grad dieser zulässigen Kompression erreicht ist, wird eingeschaltet und etwa 2—3 Minuten exponiert. K. E. 6—12 Sekunden. Eine bedeutende Bildverbesserung erzielt man durch Armierung des Kompressionsrohres mit dem Luffaschwamm (Straeter). (Näheres hierüber siehe im Kapitel „Nierenuntersuchungen".)

Luffaschwamm Straeter

So wird die ganze Lendenwirbelsäule untersucht. Für die letztere, sowie den unteren Teil der Brustwirbelsäule werden im allgemeinen, wie die drei Kreise in Fig. 150 zeigen, drei oder vier Aufnahmen vollständig genügen. Befindet sich die Lichtachse unterhalb des Nabels, so erhält man schon Teile des Kreuzbeins und der Beckenschaufeln auf der Platte. Über die Aufnahmen dieser Partien werde ich gesondert zu sprechen haben.

Unter Umständen kann es erforderlich sein, außer den beschriebenen Detailaufnahmen auch Übersichtsbilder der ganzen Lendenwirbelsäule herzustellen. Hierzu bedient man sich mit Vorteil der auf Seite 270 beschriebenen Kastenblende.

Übersichtsaufnahmen der Lendenwirbelsäule

Die Handhabung dieser Blende findet, wie in Fig. 151 abgebildet, statt. Der obere Rand des Kastens wird in die Gegend unterhalb des Proc. ensiformis des Brustbeins gesetzt, so daß der Nabel in der Mitte des Kastens liegt (siehe das Rechteck in Fig. 150). Mittels eines leichten Druckes wird der letztere langsam, so weit es der Patient aushält, eingedrückt. Ist die Blende richtig gewählt, so erhält man ein Längsbild der Wirbelsäule, welches eine Platte 18×24 ihrer Länge nach vollständig auszeichnet. Die Grenze des Bildes überragt die Proc. transversi der Wirbelkörper nach jeder Seite um einen Querfinger. Die ganze Lendenwirbelsäule

mitsamt dem oberen Teile des Kreuzbeins ist in dieser Weise auf eine Platte zu bringen. Die Bilder zeichnen sich ähnlich wie die mittels Zylinderblende gemachten durch Schärfe der Struktur ganz besonders aus.

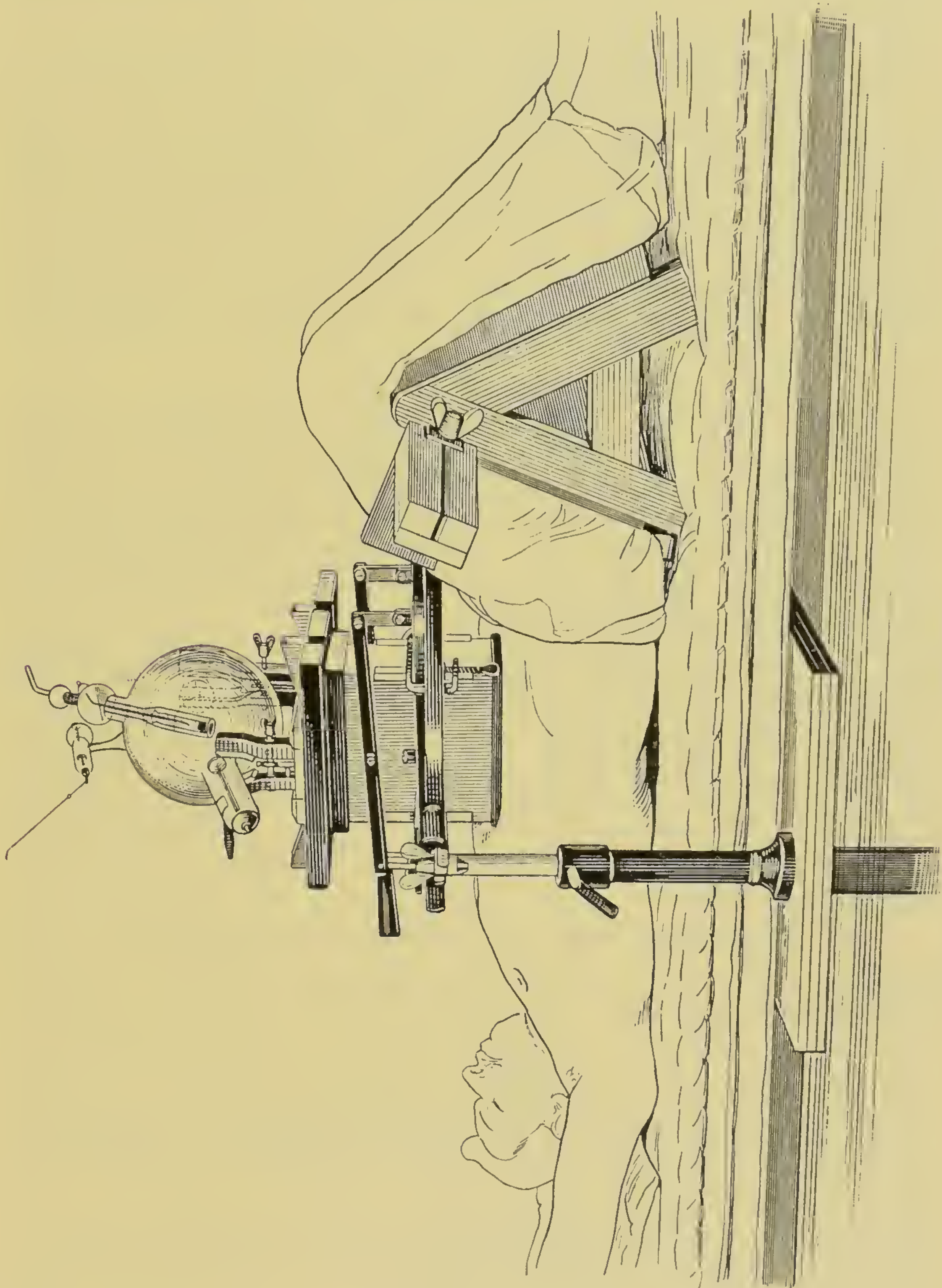


Fig. 151.

Eine gut aufgenommene und gut entwickelte Lendenwirbelplatte zeigt deutlich die Details des Wirbels, wie wir sie im anatomischen Lehrbuch oder am Skelett zu sehen gewohnt sind. Nächst den Wirbelkörpern bemerken wir die Proc. transversi, ferner die

Proc. spinosi, sowie die oberen und unteren Gelenkfortsätze, den Proc. mammilaris und den Proc. accessorius. Alle diese Teile sollen beim gut gelungenen Bilde Struktur zeigen, so daß ein eventueller Bruch oder Sprung in ihnen mit Sicherheit nachzuweisen ist. Rechts und links von der Lendenwirbelsäule hebt sich als helles dreieckiges Feld der Musculus psoas, ferner neben ihm und ihn kreuzend der Quadratus lumboren in seinem Verlaufe nach unten ab [1]).

Proc. transversus Absprengungen

Ich habe einen Fall von isolierter Fraktur des Proc. transvers. des dritten Lendenwirbel links seitlich gesehen. Die Bruchlinie hob sich scharf ab, das abgebrochene Stück des Fortsatzes war nicht wesentlich disloziert. Dieser Knochenbruch, welcher selten beobachtet wird, ist ätiologisch so zu erklären, daß der Patient gegen einen Gegenstand mit stumpfer Spitze geschleudert wurde. Letztere bohrte sich in den Rücken ein und sprengte den Querfortsatz ab. Ferner sah ich Absprengungen vom Proc. transversus des 6. und 7. Halswirbels (selten).

Es ist bei dünnen Patienten unter allen Umständen möglich, vorzügliche Bilder zu erzielen, aber auch bei mittelstarken Leuten werden wir noch in den allermeisten Fällen Struktur oder doch für die Diagnose genügende Strukturandeutungen sehen können. Handelt es sich dagegen um sehr dicke Personen mit aufgetriebenen und gespannten, fettreichen Bauchdecken, so wird die Aussicht auf ein gutes Bild natürlicherweise geringer werden. Immerhin glaube ich, daß man mit meiner Methode selbst bei Leuten mit einem Bauchumfang von beispielsweise 100 cm noch relativ gute Bilder erreichen wird, die, wenn sie auch keine Strukturdetails mehr aufweisen, doch eventuelle Formveränderungen der Wirbelkörper zeigen dürften, so daß man eine Fraktur oder auch Veränderungen an den Bandscheiben, Spondylitis deformans, und anderes mehr nachweisen kann.

Wirbelsäulenaufnahmen bei Kindern

Bei Kindern gestalten sich natürlich die Verhältnisse sehr günstig. Gerade hier werden wir häufig in die Lage kommen, Wirbelsäulenaufnahmen zu machen, wenn es sich um den Nachweis von beginnender Spondylitis oder um bereits bestehende Veränderungen der Wirbelkörper, Abszeßbildungen usw. handelt. Es ist mir stets gelungen, um die Wirbelkörper herumliegende spondylitische Abszesse auf der Platte deutlich zu fixieren. Bei sehr kleinen Kindern wird man das Kompressionsrohr nur mit Zwischenlage eines dicken Kissens und mittels des Schnellverfahrens, 1 Sekunde Exposition, benutzen können. Sind die Kinder bereits in dem Alter, daß sie auf Zureden still liegen, so empfiehlt es sich, die Aufnahme mittels Kompressionsrohrs wie bei Erwachsenen zu

[1]) Die Kreuzungsstelle dieser Muskeln kann infolge von Schattendeckung zur irrtümlichen Annahme des unteren Nierenpoles führen.

machen. Bei sehr unruhigen Kindern wird man besser tun, eine Narkose einzuleiten und alsdann mit weicher Röhre (Skala W 6 BW 5) ca. 1—2 Minuten zu belichten, K. E. 2 Sek. Die Resultate werden genügend gut ausfallen. Es erübrigt noch einige Worte hinzuzufügen, über die Möglichkeit, Knochenherde im Wirbelkörper nachzuweisen.

Man hat sich im Anfang der Hoffnung hingegeben, daß es ein leichtes sein müßte, einen Knochenherd zu finden. Es ist indessen durch Versuche, welche seinerzeit von Eugen Fraenkel und mir ausgeführt worden sind, erwiesen worden, daß die Darstellung eines Herdes, sei es in einer Extremität oder in einem Wirbelkörper, fast nie möglich ist, da er sich vom physikalischen Standpunkt aus in keiner Weise vom gesunden Knochen unterscheidet. Innerhalb der Spongiosa liegt entweder das gesunde oder das tuberkulös veränderte Knochenmark (der Käseherd). Ob nun die Strahlen durch das erstere oder das letztere hindurchgehen, ist für ihre Penetrationskraft vollständig gleichgültig. Wir werden also, wie man sich an einem Sägeschnitt überzeugen kann, bei Röntgenographie eines Knochens mit Knochenherden ein sehr schönes Bild der Struktur erhalten, ohne jegliche Andeutung der Herde. Anders wird die Sache, wenn es sich um solche Prozesse handelt, welche bereits zur Einschmelzung von Knochensubstanz geführt haben, denn hier kommen direkte Defekte im Knochen in Betracht. Eine solche Stelle wird auf der Platte sichtbar sein, da dort, wo Defekte vorliegen, eine erhöhte Menge von Strahlung hindurchgeht. Schließlich wird in Fällen, wo es sich um Verkalkungen in alten Herden handelt, ebenfalls eine Markierung auf der Platte beobachtet, da der verkalkte Herd den Strahlen einen höheren Widerstand, als der gesunde Knochen entgegensetzt.

Knochenherde in der Wirbelsäule

---

18. Kapitel.

Becken, Oberschenkelkopf und Gelenkpfanne.

I. Das Becken.

Die Schwierigkeiten der Beckenuntersuchungen beruhen darauf, daß hier, wie bei den Wirbelsäulenaufnahmen, erhebliche Weichteilmassen zu überwinden sind, und daß als erschwerender Umstand, die Füllung der Därme und die dadurch bedingte Sekundärstrahlenbildung hinzutritt. In der Anfangszeit fielen daher auch diese Bilder meist höchst mangelhaft aus. Man war zufrieden, wenn man

den Schenkelhals und eventuell einen Teil der Hüftgelenkslinie sehen konnte. Eine exakte Darstellung der Struktur der Beckenknochen oder gar des Kreuzbeines wurde nicht erreicht. So kam es, daß man nach der Güte der Beckenaufnahmen die Leistung eines Instrumentarium oder die technische Fähigkeit des Untersuchers bewertete.

Becken

Die Übersichtsbilder des Beckens haben im allgemeinen wenig praktischen Wert, da ganz besonders hier infolge der weit auseinanderliegenden Knochenpartien die perspektivischen Verzeichnungen recht erhebliche sind, so daß für topographische Zwecke diese Bilder kaum zu brauchen sein dürften. Der Pfanneneinbruch wird z. B. bei Übersichtsaufnahmen meist übersehen. Hier schafft erst eine Detailaufnahme Abhilfe. Es sind indessen gewisse Indikationen für Aufnahme von solchen Röntgenogrammen vorhanden. In erster Linie kommen Fälle von Beckenfrakturen, wo die Zahl und Lage der Brüche nicht klar ist, in Betracht. Man übersieht bei Detailaufnahmen nur einer Seite z. B. sehr leicht eine auf der andern Seite vorhandene Fraktur des Ramus horizont. ossis pubis. Zweitens ist die Darstellung des weiblichen Beckens zur Feststellung etwaiger Anomalien des großen oder des kleinen Beckens resp. des Becken-Ein- und -Ausganges erforderlich. Man ist unter Umständen imstande, Abweichungen in den Beckenverhältnissen zu konstatieren, welche dem Untersuchenden der allein auf die alten Methoden angewiesen ist, entgehen. Ich möchte hier besonders an die schräg verengten Becken erinnern, welche man bei Frauen mit angeborener Hüftluxatien oder bei solchen mit alten Coxitiden findet. Es ist bekannt, daß das coxalgisch schräg verengte Becken in sehr vielen Fällen nicht zu einem Geburtshindernis führt, immerhin ist es wichtig zu wissen, ob eine solche schräge Verengerung vorliegt. Man hat im allgemeinen bisher die Ansicht gehabt, daß das Becken seine Schrägverengerung dem Umstande verdankt, daß die Seite des gesunden Beines mehr als die des erkrankten belastet wird, mithin, daß erstere eingedrückt wird und hieraus die Schrägverengerung resultiert. Dieses besteht für viele Fälle zu Recht, es ist indessen durch die Röntgenuntersuchung herausgekommen, daß oft gerade das umgekehrte Verhältnis vorliegt, daß nämlich die Seite des Beckens, welche dem erkrankten Hüftgelenk entspricht, die eingedrückte, also das Becken im entgegengesetzten schrägen Durchmesser verengt ist. Es liegt dieses daran, daß die ganze Partie, welche der erkrankten Seite entspricht, weniger widerstandsfähig als die der gesunden ist und daher leicht durch fortgesetzte Belastung eingedrückt werden kann. Die weniger große Resistenz der affizierten

Becken Anomalien bei Frauen

Beckenhälfte läßt sich auch dadurch erweisen, daß man auf dem Röntgenogramm Knochenatrophie dieser Hälfte konstatiert. Über die beschriebenen Verhältnisse orientiert zu sein, ist für den Geburtshelfer von Wert. Es liegt nun auf der Hand, daß man derartige Beckenuntersuchungen am besten an Übersichtsbildern macht, speziell dann, wenn es sich um die komplizierte Methode der exakten Beckenmessung handelt, welche von französischer Seite angegeben worden ist.

Nachweis des Kindes in der Gebärmutter

Solange mit Röntgenstrahlen zu medizinisch-diagnostischen Zwecken untersucht wird, war es stets ein erstrebtes aber nicht erreichtes Ziel, das Kind in der Gebärmutter mit Röntgenstrahlen zur Darstellung zu bringen.[1])

Die Schwierigkeiten, welche sich diesen Untersuchungen entgegenstellen, sind durch den geringen Kalkgehalt der kindlichen Knochen, sowie durch die Dicke der Muskulatur der Gebärmutter und deren Inhalt an Fruchtwasser bedingt. Diese drei zusammentreffenden Faktoren verursachen eine sehr erhebliche Sekundärstrahlenbildung, welche zur Verschleierung der photographischen Platten führt und dadurch die Darstellung von Knochenteilen unmöglich macht.

Schon vor Jahren habe ich verschiedene Versuche an Schwangeren angestellt. Sie wurden teils in Rückenlage, teils in Seitenlage untersucht. Auf keiner der Platten markierte sich indessen der geringste Schatten des kindlichen Skelettes. Es war klar, daß man auf diesem Gebiete voraussichtlich nur durch Verfeinerung der Technik, insbesondere der Blendenanwendung weiterkommen würde. Neuere Versuche, welche ich mit der Kompressionsblende angestellt habe, ergaben nun ein wesentlich günstigeres Resultat. Ich untersuchte zwei Schwangere in der weiter unten zu beschreibenden Art und konnte auf sämtlichen angefertigten Platten teils deutliche Skeletteile des Rumpfes, teils den Kopf des Kindes erkennen.

Die erste Patientin, Ipara, welche zur Untersuchung kam, befand sich im 8. Monat der Schwangerschaft. Das Kind lag in zweiter Beckenendlage. Die Aufnahme in Rückenlage mußte von vornherein als aussichtslos aufgegeben werden, da wegen des hochgewölbten Abdomen die Blende nicht in die richtige Position gebracht werden konnte. Die Frau wurde in Seitenlage gelegt und der Kompressionszylinder in der Weise, wie Figur 152 illustriert, in Nabelhöhe auf den Leib aufgesetzt. Mittels einer Müllerschen Wasserkühlröhre, einem 60 cm Induktor mit Walterschaltung und Wehneltunterbrecher wurde $2^1/_2$ Minuten exponiert. Die Platte zeigte deutlich den Schädel des Kindes. Die Orbitae sowie der Kiefer, ferner die beiden Ober-

[1]) Siehe *Zentralblatt für Gynäkologie No. 49. 1904.*

arme waren gut zu differenzieren. Selbstverständlich fiel das Bild nicht derart kontrastreich aus, daß es sich zur Reproduktion verwenden ließe.

Der zweite Fall, welchen ich untersuchte, betraf eine schwangere Ipara im 8. Monat. Das Kind lag in erster Schädellage. Auch hier wurde genau

Schwangerschaftsuntersuchung

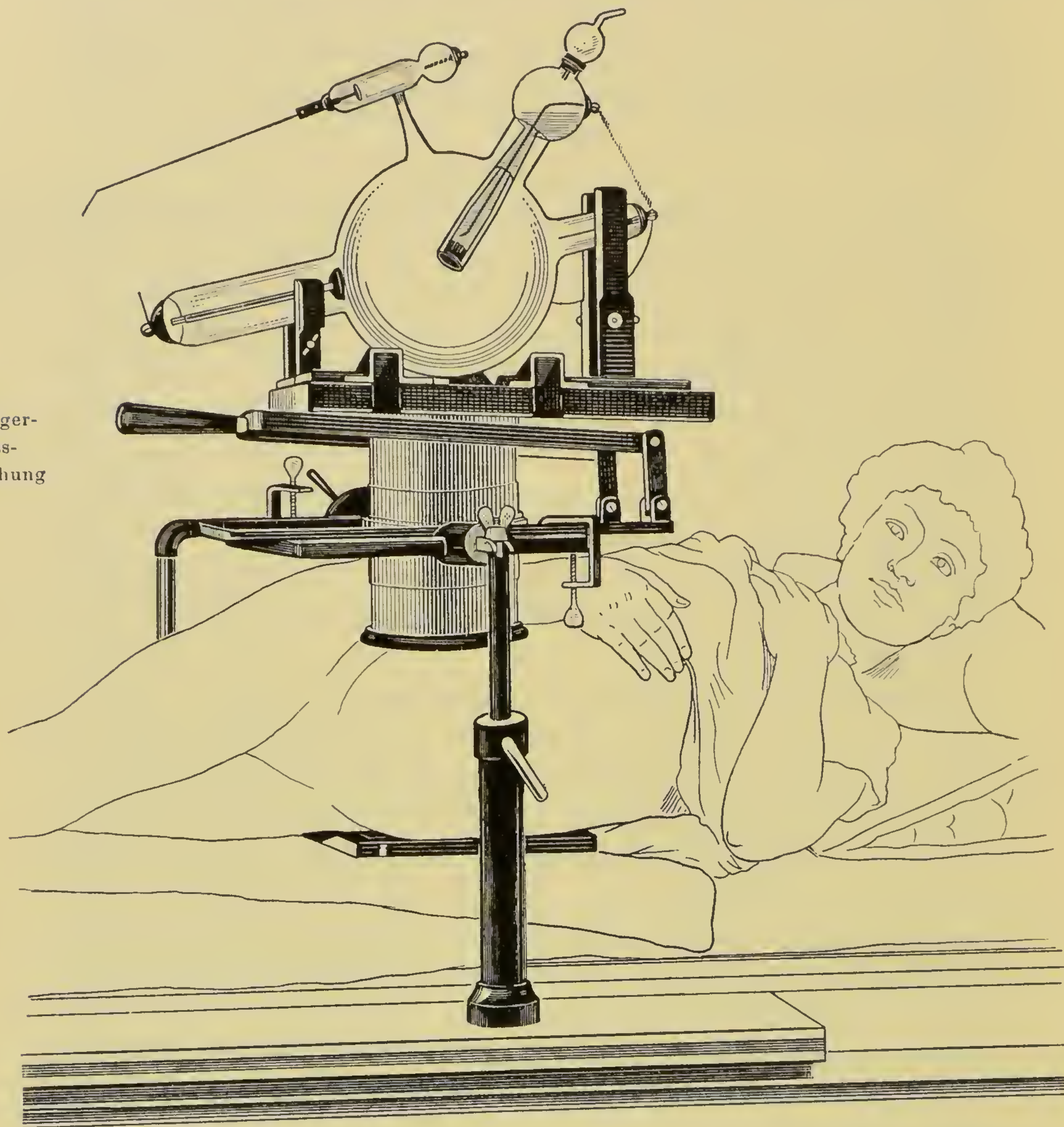


Fig. 152.

wie im ersten Falle verfahren und ein Bild gewonnen, welches Teile der Wirbelsäule, der Extremitäten und namentlich deutlich die Rippen zeigte. Zwei hintereinander gemachte Aufnahmen fielen ungefähr gleichmäßig gut aus.

Der Grund, weswegen diese Aufnahmen im Gegensatz zu früheren Versuchen glückten, liegt hauptsächlich in der Anwendung einer exakten Abblendungsmethode.

Ob dem Nachweis des Kindes im Uterus eine diagnostische oder prognostische Bedeutung zukommt, läßt sich vorderhand nicht entscheiden. Es ist erforderlich, daß zunächst an größerem Material weitere Studien in dieser Richtung gemacht werden. Ich halte es für nicht ausgeschlossen mittels der Kompressionsblendenmethode die Zwillingsschwangerschaft zu diagnostizieren. Für schwieriger erachte ich die nutzbringende Anwendung dieser Untersuchungstechnik für Lagebestimmungen des Kindes unter Berücksichtigung der Beckenverhältnisse. Hier täuschen die perspcktivischen Verzeichnungen viel zu sehr, als daß man ein einigermaßen diagnostischbrauchbares Bild erhalten könnte. Etwas anderes ist es bei der Zwillingsschwangerschaft, wenn es weder auf die Beckenverhältnisse noch auf die Präzisierung der Lage ankommt, sondern wenn lediglich die Frage beantwortet werden soll, ob eine Zwillingsschwangerschaft vorliegt oder nicht. Zwillingsschwangerschaft

Bekannt ist, daß die Röntgenmethode in der Geburtshilfe mit Erfolg bei der Extrauterin-Schwangerschaft zuerst von Brohl und Sjögren angewendet worden ist. Die Diagnose derselben dürfte in den vorgeschrittenen Monaten wohl meist gelingen, da das hindernde Moment der Uteruswandung und des Fruchtwassers in Fortfall kommt. Ebenso ist bereits mit Erfolg das Lithopädion zuerst von Marshall röntgenographisch dargestellt worden. Infolge der Verkalkungsprozesse der kindlichen Skelctteile läßt sich diese Schwangerschaftsanomalie in den meisten Fällen nachweisen. Daß auch Mißerfolge bei der Röntgenographie des Kindes im Uterus eintreten werden, ist selbstverständlich, da viele Faktoren gegen und nur wenige für das Gelingen sprechen. Nächst der sachgemäßen Anwendung des Blendenverfahrens ist vor allem der Wahl der richtigen Röhre die größte Aufmerksamkeit zu schenken, denn die zu weiche Röhre wird die zur Untersuchung kommenden Teile nicht durchdringen und Platten liefern, auf welchen nichts zu sehen ist, eine zu harte Röhre dagegen wird, auch trotz Anwendung der Blenden, die Platten verschleiern. Es ist Sache der Übung die erforderliche richtige Mittelqualität der Röhre je nach dem Umfang des Abdomens herauszufinden. Zu bedenken ist bei diesen Aufnahmen die event. Schädigung des Kindes durch die Strahlen, sowie die Möglichkeit des Abortes. Jedenfalls dürfen nur kurzdauernde Aufnahmen und keine Wiederholungen bei etwaigen Mißerfolgen gemacht werden. Extrauterin-schwangerschaft Lithopädium

Eine weitere Indikation für Übersichtsaufnahmen bildet die Darstellung der angeborenen Hüftluxation. Sie ist seit Beginn der Röntgenzeit stets als eine Lieblingsaufgabe der Röntgenographie betrachtet worden, was in der Tat durchaus be- Hüftluxation

rechtigt ist, da für den operierenden Orthopäden die genaue Kenntnis des Standes des Schenkelkopfes, sowie der Größe und Form der Pfanne von außerordentlichem Werte ist. Die Technik dieser Untersuchung kann einfach, aber auch recht kompliziert sein, letzteres namentlich dann, wenn es sich darum handelt, kleine Kinder von ein oder zwei Jahren mit den alten Apparaten zu untersuchen. Man wird zunächst in wenig Fällen die Freude haben, daß die Kinder während der Aufnahme vollständig ruhig liegen. Wenn man auch die Röhre verhüllt oder sonstige Vorkehrungen trifft, werden sie doch nur selten während der ganzen Expositionszeit die unerläßliche absolute Ruhelage innehalten. In solchem Falle ziehe ich der früher üblichen Chloroformnarkose die Schnellaufnahme in 1 Sekunde, welche mit den vorbeschriebenen Apparaten fast ausnahmslos gelingt, der Zeitaufnahme vor. Wenn auch die Strukturdetails weniger brillant ausfallen als bei längerer Exposition, so entschädigt hierfür die Sicherheit und Schnelligkeit des Verfahrens.

Die Kinder werden mit geradegerichteten leicht auswärts rotierten Beinen in Rückenlage auf die Platte gelegt und zwar je nach der Größe, vom Format 18/24 oder 24/30, bei kleineren Kindern wird 18/24 stets vollständig genügen. Man kann ohne Blende mit einer guten weichen Röhre ein genügend scharfes Strukturbild (Skala W 5—6. BW 4—5) des kindlichen Beckens erhalten. Ich möchte indessen empfehlen, auch selbst bei diesen verhältnismäßig leichten Aufnahmen lieber das Blendenverfahren anzuwenden, da man nicht in der Lage ist, stets über eine ideale Röhre zu verfügen, und da sich häufig eine solche, welche man für vorzüglich gehalten hat, während der Aufnahme plötzlich als zu hart oder zu weich herausstellt. Namentlich die zu harten Röhren verschleiern das sonst gut ausgefallene Bild. Man benutzt die Tisch- oder die Wandarmblende und zwar mit einem Abstand von 33 cm und einer Diaphragmaweite von 8 cm bei rundem Blendenloch. Handelt es sich um ein größeres Kind, welches nicht auf 18/24 Platz findet, so wird die Blende (8 cm) auf 36 cm Abstand entfernt und wir erhalten einen Kreis vom Durchmesser 21 cm, der jedenfalls ausreichen dürfte. Für noch größere Kinder wird dann der Abstand auf 41 cm erhöht, wodurch der Durchmesser des Beleuchtungskreises auf 34 cm wächst. Die Röhre muß, wie schon gesagt, von sehr guter Qualität sein. Man nimmt am besten eine weiche Handröhre (Skala W 5 BW 4). Die Exposition beläuft sich, je nach der Größe des Kindes, bei Zeitaufnahme auf eine halbe bis zwei Minuten, bei Schnellaufnahmen auf 1—2 Sekunden. Auch die Kompressionsblende eignet sich bei Anwendung des großen Zylinders 19 cm gut zur Herstellung von

Übersichtsaufnahmen, da seine Apertur bei Kinderaufnahmen beide Hüftgelenke gleichzeitig umfasst.

Ein solches Beckenbild gibt, wenn es gut ausgefallen ist, alle Details wieder. Die Struktur ist überall, sowohl auf dem Oberschenkel, wie auf den Beckenknochen mit Einschluß des Kreuzbeines sichtbar. Nicht selten sieht man die Flexura sigmoidea, namentlich wenn sie mit Kot gefüllt ist. Über die Pfannenverhältnisse erhalten wir, wenn man die gesunde Seite mit der Kranken vergleicht, genügenden Aufschluß. Der Stand des Kopfes, die Höhe desselben, sowie die Richtung des Halses gehen indessen aus den Bildern nicht völlig perspektivisch richtig hervor. Da die Strahlen in Gestalt eines Lichtkegels, also divergierend das Becken treffen, so werden die Distanzen z. B. zwischen Os ileum und Schenkelkopf nicht richtig dargestellt, ebenso zeigt der Femurkopf, sowie das ganze Becken gewisse durch den divergenten Strahlengang bedingte Abweichungen von den wirklichen Verhältnissen. Zur oberflächlichen Orientierung mögen indessen die Aufnahmen meist genügen.

Da wir mit dem Kompressionszylinder (13 cm) nur ein Hüftgelenk zurzeit röntgenographieren, so müssen, falls Vergleichsplatten erforderlich sind, die Hüften nacheinander aufgenommen werden. Hat man kleine Kinder zu untersuchen, dann kann man bei Benutzung auch dieses Zylinder (13 cm) ohne Schwierigkeit beide Hüftgelenke auf eine Platte bringen.

Handelt es sich indessen darum, speziell das luxierte Hüftgelenk in allerschärfster Weise und ohne nennenswerte perspektivische Verzeichnung zu röntgenographieren, so wird man die Kompressionsblende anwenden. Zylinder (13 cm) gibt einer ausreichenden Belichtungskreis, um bei Kindern jeder Größe diese Partien sämtlich auf die Platte zu bringen. Die Kinder werden unter der Kompressionsblende in der üblichen Weise gelagert und der Zylinder mit seinem Zentrum so eingestellt, daß der Mittelpunkt des Pubartschen Bandes, also die Pfanne, in der Lichtachse steht. Diese Einstellung garantiert ein Bild, welches die Lagerverhältnisse zwischen Femurkopf und Pfanne anatomisch richtig widergibt. Die Belichtung beträgt je nach der Dicke des Kindes bei Zeitaufnahmen 1—$1^1/_2$ Minuten, K. E. 1—2 Sek. Man versäume nie bei der Untersuchung von Knaben eine kleine Bleiplatte auf die Genitalien zu legen, um event. Schädigungen der Keimdrüsen vorzubeugen. Die Bleiplatte läßt sich leicht mittels des unter der unteren Zylinderapertur liegenden Wattekissen fixieren. Die Aufnahme des Hüftgelenkes empfichlt sich zunächst vor der Operation, sodann während der Zeit, in welcher das Kind im Gibsverbande

Testikelschutz bei Knaben

liegt und schließlich am Schluß der Behandlung, bei der Entlassung. Die Aufnahme im Gipsverband macht man in der Weise, daß vorn und hinten an den Stellen, welche senkrecht über oder unter der Gelenkpfanne liegen, in den Verband Fenster eingeschnitten werden. Man hat alsdann nur nötig, die Kompressionsblende auf diese Fenster einzustellen, um scharfe Bilder zu erhalten, welche über den Stand des Schenkelkopfes innerhalb des Verbandes Aufschluß geben. Die Aufnahmen vor und nach der Operation macht man bisweilen bei Spreizung der Beine, da alsdann die Lage der Schenkelköpfe gut zur Geltung kommt.

Stereoskopische Hüftgelenksbilder

Vielfach werden stereoskopische Röntgenogramme des Hüftgelenkes bei der angeborenen Luxation nötig sein. Über das Verfahren werde ich später bei der Abhandlung der Stereoskopie berichten. Es ist nicht zu bestreiten, daß die stereoskopischen Bilder einen idealen Einblick in die Knochenverhältnisse der angeborenen Luxtion geben. Es bleibt aber immerhin fraglich, ob man in allen Fällen das Verfahren mit Nutzen anwenden wird, da es außerordentlich mühsam und zeitraubend, und wegen des größeren Plattenverbrauchs auch kostspielig ist. Die Methode der direkten Betrachtung stereoskopisch aufgenommener Originalplatten ermöglicht allerdings die körperliche Darstellung ohne wesentlich erhöhten Plattenkonsum in allerkürzester Zeit. Auch hierauf wird später zurückzukommen sein.

Sehr zu empfehlen sind stereoskop. Hüftgelenksaufnahmen bei Coxitis nach Einspritzung von Jodoformglycerin. Man wird sich oft davon überzeugen können, daß die Flüssigkeit gar nicht in das Gelenk hineingekommen ist.

Coxa vara

Bei der Darstellung der Coxa vara kommt es darauf an, sowohl die Krümmung des Schenkelhalses nach oben, als auch die Verbiegung nach vorn zu zeigen. Bei der beschriebenen Kompressionsaufnahme in Rückenlage des Patienten kommt die Krümmung nach oben ohne perspektivische Verzeichnung deutlich heraus. Um die Krümmung nach vorn darzustellen, bedürfen wir entweder einer stereoskopischen Aufnahme oder einer Aufnahme in Beugung und Abduktionsstellung des Oberschenkels. Es empfehlen sich ferner auch Aufnahmen mit einwärts rotiertem Femur.

II. Das Kreuzbein.

Das Os sacrum kommt meist in Verbindung mit dem letzten Lendenwirbel zur Aufnahme. Man schiebt dem Patienten, welcher sich in Rückenlage befindet, eine Platte vom Format 18/24 unter das Kreuzbein. Der Einstellungspunkt für die Lichtachse befindet sich, wenn man den oberen Teil des Kreuzbeines, den letzten

Lendenwirbel und die Beckenschaufeln in ihren oberen Partien zur Darstellung bringen will, zwei Querfinger unterhalb des Nabels. Diese Aufnahme ist besonders geeignet für die Kompressionsmethode, da man bei einigermaßen weichem Abdomen hier mittels langsamen Druckes außerordentlich in die Tiefe dringen kann. Auch ohne die erstere läßt sich mit der Tischblende oder mit dem Wandarm diese Aufnahme machen.

Kreuzbein

Der Kompressionszylinder (13 cm) wird hart oberhalb der Symphyse mit Zwischenlage eines Luffaschwammes eingedrückt, und zwar soweit als möglich, mit einer geringen der Symphyse zugerichteten Schrägneigung der Lichtachse. Man erhält dann, wenn die Patienten nicht zu dick sind, das ganze Kreuzbein bis hinunter zum Steißbein, mit vollendeter Struktur.

Verkalkungen der iliaca

Unter Umständen kann es von Interesse sein, über das Verhalten der Arteria iliaca etwas Näheres zu wissen, speziell festzustellen, ob eine Verkalkung derselben vorliegt oder nicht. Solche Aufnahmen lassen sich mittels der Kompressionsverfahren sehr schön ausführen, da man imstande ist, gerade an den Partien, wo man auf die Arteria iliaca trifft, weit in die Tiefe einzudrücken. Das Kompressionsrohr wird seitlich von der Mittellinie hart an der Symphyse eingedrückt. Ein solches Bild zeigt das Os ileum, die Synchondrosis sacroiliaca, einen seitlichen Teil des Kreuzbeins und, wenn die Arterie in der Tat verkalkt ist, diese in ihrem vollständigen Verlauf. Man hüte sich indessen, für die Untersuchung des Kreuzbeins, wie für die der Arteria iliaca zu harte Röhren zu nehmen. Die gewöhnliche Durchschnittsbeckenröhre dürfte schon zu hart sein. Das Kreuzbein ist ähnlich wie das Schulterblatt ein dünner und poröser Knochen, welcher leicht zu durchstrahlen ist. Nur mit wirklich weichen Röhren W 6 BW 5 kann man hier Strukturverhältnisse zeigen. Die Indikationen für die Kreuzbeinuntersuchungen sind nicht sehr zahlreich, hauptsächlich werden sie in Betracht kommen, wenn es sich um den Nachweis von Tumoren in dieser Gegend oder um destruierende Prozesse in der Synchondrosis sacroiliaca handelt.

Rektumaufblasung

Vor der Aufnahme muß das Rektum, am besten mittels Einlauf, völlig entleert sein. Kotmengen hindern die Durchstrahlung außerordentlich. Zur Aufnahme des Steißbeines empfiehlt es sich, das Rektum mit Luft aufzublasen. Hierdurch wird das Steißbein und Kreuzbein infolge der eingeführten Luft deutlich.

Die Aufblasung des Rektum kann auch zweckmäßig mit einem Rektoskop gemacht werden, wobei besonders darauf zu achten ist, daß der die Blase tragende Glasansatz nicht zu hoch ins Rektum hineingeschoben wird, da er sonst die letzten Steißbeinwirbel verdeckt.

Befinden sich Flatus im Rektum, so wirken diese wie künstlich eingeblasene Luft, sie markieren sich ebenso wie in den höheren Darmabschnitten als schwarze sehr kontrastreiche Stellen. Ist der Darm mit Luft gefüllt, so kann man den Sphincter intern. und die Haustra im Dickdarm manchmal deutlich differenzieren.

III. Oberschenkelkopf und Gelenkpfanne.

Luxation des Oberschenkels

Die Darstellung der Oberschenkelluxation ist auf der Platte manchmal schwer, auf dem Leuchtschirm bei korpulenten Personen ebenfalls nur mit Schwierigkeiten ausführbar. Es kommen Luxationen nach hinten vor, meist mit gleichzeitiger Fraktur der Pfanne, bei welchen man auf den ersten Blick die Luxation nicht erkennt. Erst bei genauem Zusehen sieht man, daß das obere Pfannendach sich mit dem Schatten des Schenkelkopfes deckt.

Schenkelhalsfraktur

Der Nachweis der Schenkelhalsfrakturen bietet nächst den angeborenen Luxationen wohl das Hauptkontingent der Beckenuntersuchungen. Er ist sehr dankbar und bei richtiger Technik verhältnismäßig leicht auszuführen. Bei Innenrotation verlängert sich der Oberschenkelhals, der Trochanter major tritt seitwärts und der Trochanter minor verschwindet. Bei Außenrotation verkürzt sich der Hals so, daß der Trochanter major den Hals zum größten Teil deckt. Die Innenrotation wäre demnach besonders geeignet für die Aufnahme von Schenkelhalsbrüchen. Da aber die Pat. mit Schenkelhalsbrüchen mit außenrotierten Oberschenkeln liegen, so ist das Bild mit doppelter Vorsicht zu betrachten, da der Bruch infolge der Überdeckung durch den Trochanter übersehen werden kann. Handelt es sich um frische Frakturen, so empfiehlt es sich, den Patienten, welcher auf einer Tragbahre oder in einem Bette in das Untersuchungszimmer gebracht wird, in seiner Lage vollkommen liegen zu lassen, um ihm unnötige Schmerzen zu ersparen und die Fraktur in ihrer Heilung durch Bewegungen nicht zu beeinträchtigen. Man schiebt unter das Hüftgelenk, je nach der Größe des Kranken, eine Platte, etwa vom Formate 18/24. Die Tisch- oder die Wandarmblende wird mit einer guten Beckenröhre (W 7 BW 6) armiert und zentriert. Die Belichtungsdauer beträgt etwa $1^1/_2$—2, bei starken Personen 2—3 Min., K. E. 12 Sek. Es ist wichtig, daß der ganze Schenkelhals mit Einschluß des Trochanter major, eines Teils des Oberschenkelschaftes und der ganzen Pfanne auf dem Bilde zu sehen ist, um Differentialdiagnosen zwischen Schenkelhalsfraktur, Pfannenfraktur oder Fraktur durch den großen Trochanter stellen zu können. Solche Bilder müssen scharf und

Struktur zeigend ausfallen, namentlich auch deswegen, weil eventuelle Absprengungen usw. den Heilungsverlauf beeinflussen können und bei der Therapie berücksichtigt werden müssen.

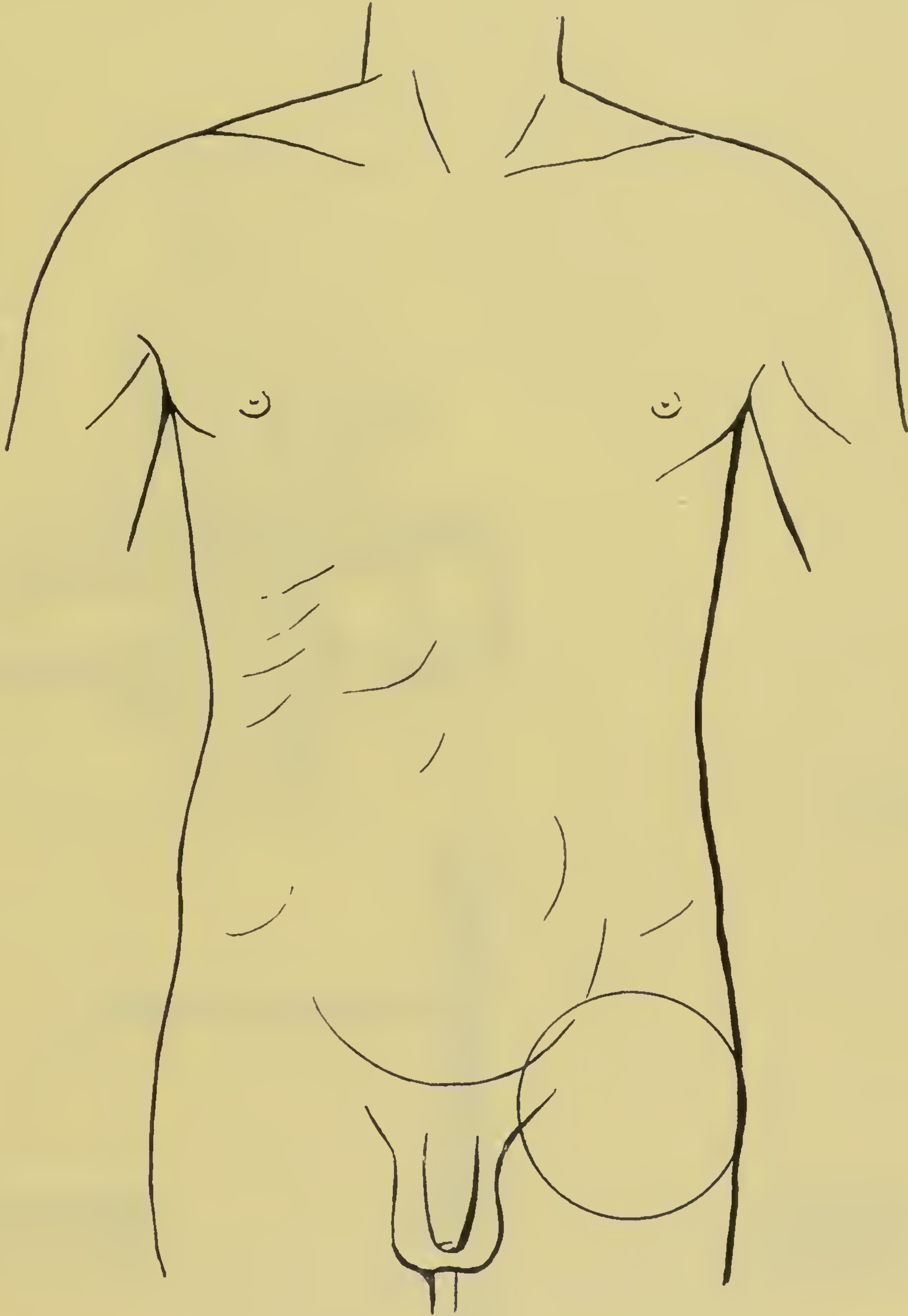


Fig. 153.

Das Kompressionsblendenverfahren ist hier wiederum an erster Stelle am Platz. Natürlich verzichtet man auf eine Kompression, da diese zu schmerzhaft sein würde, und beschränkt sich darauf, den Zylinder nach Zwischenlegen eines Wattekissen auf die Haut fest aufzusetzen. Der Einstellungspunkt der Lichtachse liegt, wie

schon bei der angeborenen Hüftluxation gesagt, auf der Hälfte des Ligamentum pubarti event. auch etwas tiefer. Je nachdem der Patient korpulent oder weniger stark ist, muß man mit der Blende etwas mehr nach außen und unten gehen (siehe Fig. 153 u. 154).

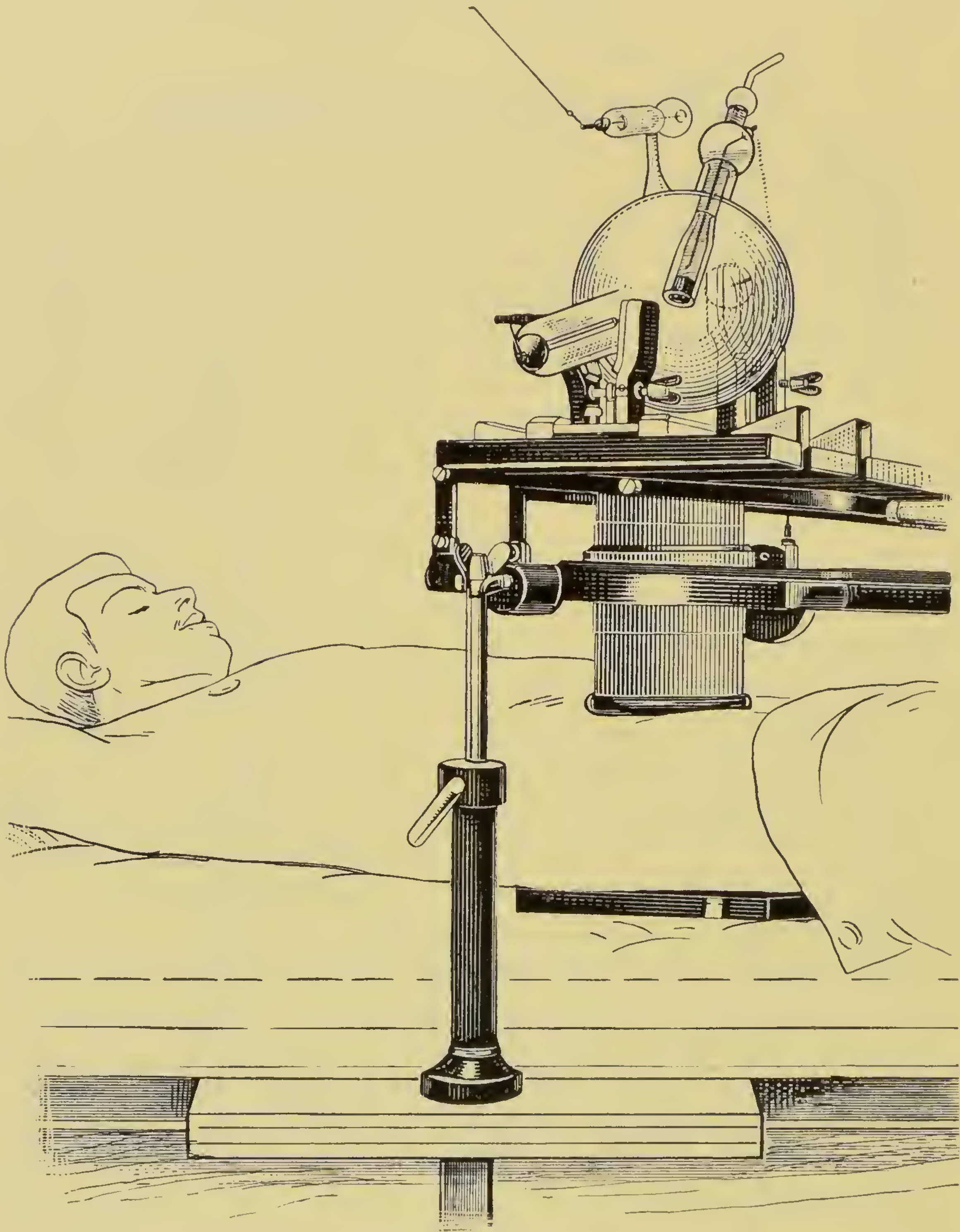


Fig. 154.

Handelt es sich um Fälle von alten Schenkelhalsfrakturen, welche bereits geheilt sind, aber noch zu zahlreichen Beschwerden und Störungen Anlaß geben, wie solches vorwiegend bei Unfallbegutachtungen der Fall zu sein pflegt, so wird die Aufnahme auf

dem gewöhnlichen Untersuchungstisch gemacht. Patient wird, wie die Fig. 154 zeigt, auf diesen gelagert und das Kompressionsrohr, wie oben beschrieben, eingestellt. Man benutzt Rohr (13 cm), welches einen genügend weiten Belichtungskreis gibt, um außer dem Schenkelhals auch die benachbarten Beckenpartien vollständig übersehen zu können. Es empfiehlt sich, das Bein auf die in Fig. 151 abgebildete Schiene zu legen und den Fuß durch einige Gummibindentouren zu fixieren. Hierdurch wird ein Bewegen oder ein Verdrehen während der Aufnahme am sichersten verhindert. Die Pression, welche durchaus schmerzlos ist, da man ein Wattekissen zwischen Zylinder und Oberschenkel legt, kann mit Vorteil ziemlich stark ausgeführt werden, wodurch die Ruhelage garantiert wird. Ein solches Bild muß die Struktur des Oberschenkels, Corticalis, Spongiosa, sowie die Trajektorien des Schenkelhalses zeigen. Die Fovea soll ebenfalls klar hervortreten. Es ist dieses mit der Kompressionsblende fast stets zu erreichen, vorausgesetzt, daß die Röhre richtig gewählt und die Blende in der beschriebenen Weise eingestellt worden ist. Solche Aufnahmen lassen sich auch mittels der Tisch- und Wandarmblende machen, es ist jedoch zweifellos, daß diese Bilder weniger gut und prägnant als die mit dem Kompressionsrohr gemachten ausfallen.

Frakturen der übrigen Teile des Beckens müssen zunächst lokalisiert werden, was man unter Umständen unter Zuhilfenahme von Übersichtsbildern mit dem großen Zylinder (19 cm) tun kann. Ist man über den Sitz der Fraktur einigermaßen orientiert, so folgt die Aufnahme mit dem 13 cm-Zylinder, wobei jedesmal die Partie, auf welche es ankommt, in der üblichen Weise eingestellt wird. Bei den Pfannenfrakturen muß man das Kompressionsrohr oder die anderen Blenden so einstellen, daß die Lichtachse nicht auf dem Halbierungspunkt des Ligamentum pubarti, sondern 2—3 cm höher und ca. 2 cm näher der Mittellinie liegt. Es hat dieses den Grund, die Pfanne mehr von der Rückseite zu sehen, was unter Umständen, wenn es sich um den Nachweis von Callus handelt, Bedeutung haben kann. Bei Beckenschaufelfrakturen stellt man den Zylinder so ein, daß sein oberer Rand zwei Querfinger breit oberhalb der Crista ossis ilei steht.

Pfannenfrakturen

Beckenschaufelfrakturen

Bei der Coxitis ist stets durch Aufnahme auch der gesunden Seite ein Vergleichsobjekt zu schaffen. Die coxitischen Veränderungen sind bisweilen schwer zu erkennen, namentlich wenn es sich um frühe Stadien handelt. Ist die Erkrankung etwas weiter fortgeschritten, so daß es schon zu Knochendefektbildungen gekommen ist, dann wird die Diagnose meist leicht zu stellen sein, da sich deutliche Unterschiede zwischen der erkrankten und der

Coxitis

gesunden Seite zeigen. Knochenherde, welche mit Substanzverlust verbunden sind, markieren sich auf technisch guten Bildern meist. Zur Darstellung des Hüftgelenkspaltes empfiehlt sich die 3. Nierensteineinstellung, wobei der Zylinder etwas nach außen geschoben werden muß. Man erhält dann einen sehr weiten Gelenkspalt und besonders deutlich die Fovea. Nicht selten gelingt es bei richtig aufgenommenen Hüftgelenksbildern, auf welchen die Gelenklinie als klarer, deutlicher Spalt herausgekommen ist, Verschiedenheiten zwischen dem gesunden und dem kranken Hüftgelenkspalt zu beobachten. Die Gelenkspalte der erkrankten Seite erscheint dann getrübt und verwischt, bei bereits eingetretener Zerstörung des Knorpels verschmälert, oder falls ein Erguß vorliegt, verbreitert. Jedoch sollte man sich hüten, bei anscheinend normalem Röntgenbild das Vorhandensein einer Coxitis auszuschließen, denn die Anfangsstadien markieren sich nicht.

Hüftgelenkspalt

Osteomyelitis des Schenkelkopfes

Die osteomyelitischen Erkrankungen des Schenkelkopfes können natürlich nur mit dem exakten Kompressionsblendenverfahren dargestellt werden. Sequester im Femurkopf lassen sich auf sehr guten Bildern erkennen. Die Technik bei der Coxitis, sowohl wie bei der Osteomyelitis ist dieselbe, wie die bei den Frakturen beschriebene. Auch die Untersuchungen des Trochanter major können unter Umständen indiziert sein, z. B. bei syphilitischen Veränderungen, die sich deutlich in der Strukturzeichnung markieren. Der Trochanter wird genau nach denselben Grundsätzen mittels der Blende eingestellt, wie das Hüftgelenk selber.

Syphilis des Trochanter

Arthritis im Hüftgelenk

Die chronischen, deformierenden, arthritischen Prozesse an der Pfanne und am Schenkelkopf spielen besonders bei der Begutachtung von Unfallpatienten eine bedeutende Rolle. Die Auflagerungen, Excreszenzen, Osteophyten am Kopf und am Pfannendach, sowie die Veränderungen der Form des Schenkelkopfes, welcher statt rund bisweilen eiförmig erscheint, lassen sich nur auf wirklich scharfen Strukturbildern nachweisen. Man hüte sich, falls man keine technisch vorzüglichen Bilder zur Verfügung hat, die Beschwerden der Kranken zu leicht zu nehmen. Unbedeutende Veränderungen im Gelenk können den Patienten bedeutende Leiden verursachen. Es ist einer der schönsten Erfolge der Röntgenologie, daß mit dem Fortschreiten ihrer Technik die Diagnose auf Simulation immer seltener gestellt wird.

19. Kapitel.

Die untere Extremität.

I. Der Oberschenkel.

Bei den Oberschenkeluntersuchungen wird man unter allen Umständen den Grundsatz festzuhalten haben, daß in zwei Richtungen Aufnahmen gemacht werden müssen. Es ist dieses unbedingt erforderlich, um sich über etwaige pathologische Veränderungen, sowie über die Ausdehnung der letzteren einen Begriff zu machen. Die Frakturen können in horizontaler Lage untersucht, bisweilen kaum oder gar nicht zu sehen sein, während man erstaunt ist, bei einer Aufnahme in Seitenstellung eine erhebliche Abweichung der Bruchenden konstatieren zu müssen. Das Blendenverfahren wird hier in der Weise zur Anwendung kommen, daß man große Belichtungskreise von 34 cm Durchmesser nimmt, um sich über die Lokalisation der Frakturen zu orientieren. Ist die Stelle gefunden, dann empfiehlt es sich, mit engeren Diaphragmen oder mit der Kompressionsblende diese eine Partie einer genauen Aufnahme zu unterziehen, um den Verlauf der Bruchlinie, etwaige Abweichungen, Absprengungen oder Callus nachzuweisen.

Oberschenkelfrakturen

Bei Anwendung der letztgenannten Methode nehme man die Kastenblende und untersuche in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen.

In der gleichen Weise verfährt man bei Untersuchungen auf Sequester bei Osteomyelitis. Etwa bestehende Fisteln geben keinen Anhalt für die Lokalisation eines osteomyelitischen Herdes. Man muß in einem solchen Falle den Oberschenkel in großer Ausdehnung untersuchen und zunächst auf Übersichtsaufnahmen oder auf Aufnahmen mit der Kastenblende die einzelnen affizierten Partien feststellen. Das Vorhandensein kleiner Sequester wird mittels der Kompressionsmethode mit engen Blenden konstatiert werden können.

Sequesternachweis bei Osteomyelitis

Hat man die Erkrankung topographisch lokalisiert, dann empfiehlt es sich auch in den unteren Teil des Zylinders eine Blende einzulegen. Die Bilder, welche man auf diese Weise erhält, sind entsprechend dem Durchmesser der unteren Blende nur klein (3 bis 4 cm im Durchmesser) aber von außerordentlicher Schärfe. Immerhin gehören diese Aufnahmen zu den schwierigen Aufgaben, namentlich, wenn die Weichteile und die Muskulatur sehr kräftig

entwickelt sind. Auch hier muß in zwei verschiedenen, aufeinander senkrecht stehenden Ebenen untersucht werden, da die Sequester sich bisweilen nicht in beiden Ebenen gleich deutlich markieren. Bietet die Untersuchung in zwei Ebenen Schwierigkeiten, dann röntgenographiere man zunächst bei senkrechtem Strahlengange und alsdann mit Schrägstellung des Zylinders im Winkel von ca. 45°.

Syphilis und Neubildungen

Die Regel, in zwei Richtungen zu untersuchen, gilt selbstverständlich auch für die Knochensyphilis und die Neubildungen am Oberschenkel. Gerade bei den letzteren ist es außerordentlich wichtig, weil der Nachweis des Ursprungs der Sarkome für die Therapie von Bedeutung ist, worauf Dietzer hingewiesen hat. Es muß verlangt werden, daß die Corticalis und die Spongiosa deutlich voneinander differenziert sind, da hierauf oft der Aufbau der Diagnose basiert ist, dann besonders, wenn es sich um tertiäre syphilitische Veränderungen am Oberschenkel handelt. Die osteoporotischen und osteosklerotischen Veränderungen des Knochens sind auf dem Röntgenbilde in exakter Weise zur Darstellung zu bringen, auch die periostalen syphilitischen Affektionen markieren sich deutlich, vorausgesetzt, daß die Bilder bis in die Details hinein scharf und klar ausgefallen sind.

II. Das Kniegelenk.

Kniegelenk

Die Untersuchung der Knie bereitet oft Mühe, weil es schwer ist, beim liegenden Patienten das Bein so fest zu lagern, daß während einer 1—2 Minuten dauernden Durchleuchtung die absolute Ruhestellung garantiert ist. Man hilft sich durch Beschweren der Extremitäten oberhalb und unterhalb des Knies mit Sandsäcken. Mit Nutzen habe ich auch die Aufbandagierung auf die Kassette mittels der Esmarchschen Binde vorgenommen. Es ist indessen nicht zu leugnen, daß trotz dieser Vorsichtsmaßregel recht häufig unscharfe Bilder entstehen, welche zur Diagnose nicht oder nur ungenügend geeignet sind. Benutzt man die Tischblende oder die Wandarmblende, so ist man genötigt, das Bein durch Sandsäcke, Schlitzbinden oder Gummizüge zu fixieren.

Der Patient wird bei der Aufnahme in Seitenlage auf seine rechte, oder linke Seite gelegt, im Rücken fest gestützt und das zu untersuchende Knie auf die Platte gelagert. Bei Aufnahme des Knies von der Außenseite ist dieses leichter als bei der Röntgenographie von der Innenseite. Im ersteren Falle ruht die Last des Beines direkt auf der Platte, während das nicht zu untersuchende Bein nach rückwärts gehalten wird. Das letztere muß aber mit derselben Sorgfalt gelagert werden wie das zu untersuchende, da

sich etwaige Bewegungen der anderen Extremität störend mitteilen können. Man legt unter das gesunde Knie große Sandsäcke und stützt die Fußsohle ebenfalls durch solche, so daß ein Verrutschen unmöglich wird. Platten vom Format 18/24

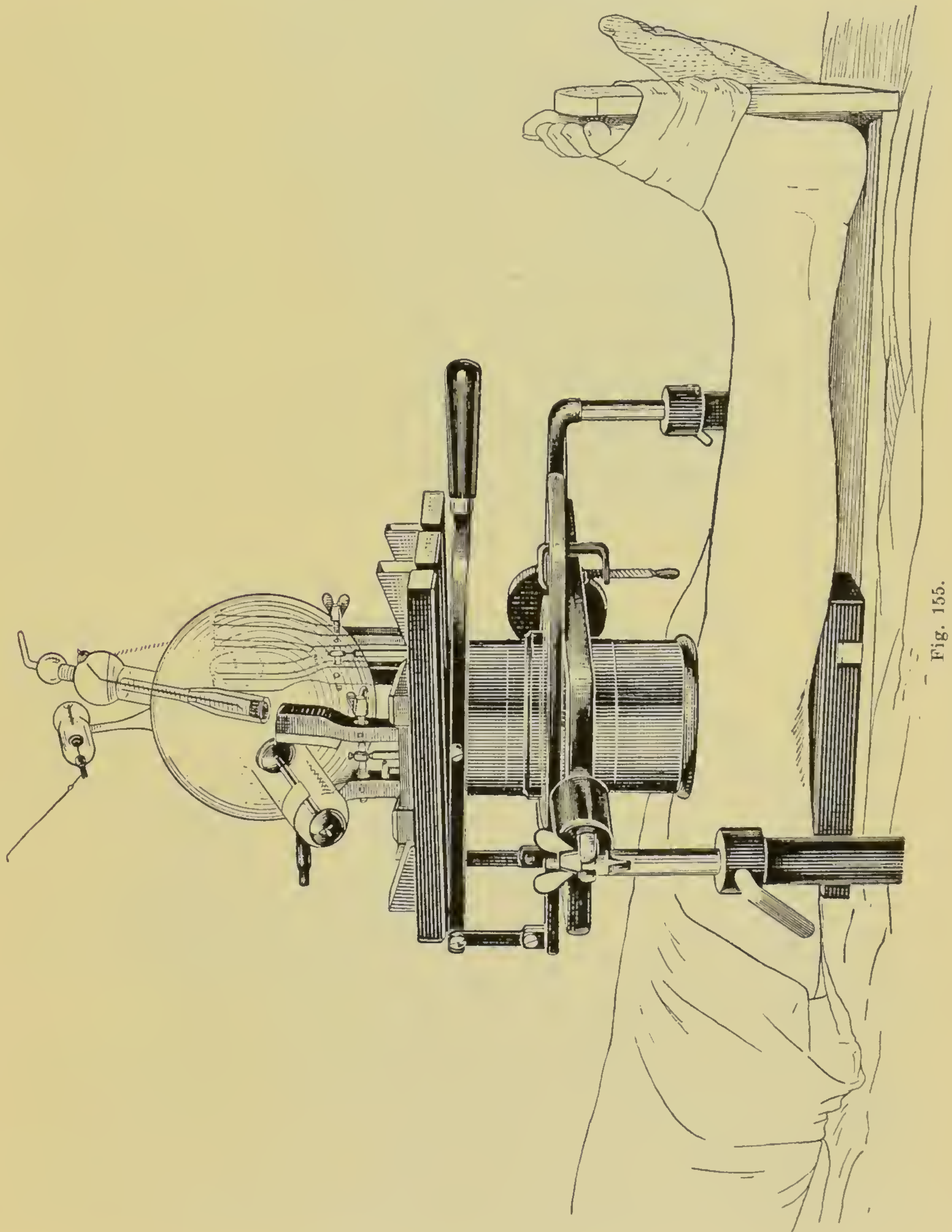


Fig. 155.

werden für die Aufnahme der Knie in Seitenlage ausreichen. Die Blende wird mit ihrem Lot genau auf den Gelenkspalt, welcher durch Palpation leicht zu fühlen ist, eingestellt ist. Die Exposition beträgt mit einer mittelweichen Röhre (W 6 BW 5) $1^{1}/_{2}$—2 Min., K. E. 6 Sek.

Die Aufnahmen von der Innenseite her werden am zweckmäßigsten in der Weise gemacht, daß man so viele Bretter, oder den weiter unten zu beschreibenden Stützbock unter das auf der Platte aufbandagierte Knie schiebt, daß Ober- und Unterschenkel horizontal liegen. Ist letzteres nicht der Fall, so wird eine perspektivisch falsche Vergrößerung des der Platte abgewandten Kondylus entstehen. Das nicht zur Untersuchung kommende Bein muß nach hinten gestreckt und dort fixiert werden. In dieser Stellung hat der Patient den besten Halt. Bei der Aufnahme in Rückenlage bedient man sich der in Fig. 161 abgebildeten Schiene, deren Wirkung, die man durch einige Sandsäcke noch unterstützen kann, darin besteht, daß der Unterschenkel keine Drehungen, welche sich dem Knie mitteilen, ausführen kann. Diese Aufnahme ist wesentlich leichter, da der Körper infolge der bequemeren Lage ruhig liegt. Als Einstellungspunkt wählt man das untere Ende der Patella, respektive die Mitte des deutlich fühlbaren Gelenkspaltes. Die Knieaufnahmen werden mit einer Blende gemacht, welche eine Platte vom Format 18/24 vollständig auszeichnet. Bei kleineren Knien kann man eine etwas engere Blende wählen, da das Bild um so schärfer und exakter wird, je kleiner das Diaphragma ist. Es ist indessen kein Zweifel, daß diese Knieaufnahmen in der eben beschriebenen Weise doch in sehr vielen Fällen zu Mißerfolgen Anlaß geben und zwar liegt dieses daran, daß auch bei exaktester Lagerung und bei bestem Willen des Patienten kleine Bewegungen schwer zu vermeiden sind.



Fig. 156.

Bei der Aufnahme mittels Kompressionsblende kommen folgende *vier typischen Stellungen,* welche genügen, um eine für alle Fälle erschöpfende Darstellung des Kniegelenkes zu gewährleisten, in Betracht.

I. Rückenlage des Patienten. Unter- und Oberschenkel auf der Schiene. Oberer Rand des Zylinders (13 cm) zwei Querfinger über dem oberen Rand der Patella (Kissen!). Bei dieser Einstellung geht die Lichtachse durch die Eminentiae intercond. Der Gelenkspalt ist mithin in seiner ganzen Ausdehnung völlig frei (Fig. 155, 156 u. Tafel IV, Fig. 1).

II. Seitenlage des Patienten auf der Aussenseite. Oberer Rand des Zylinders (13 cm) zwei Querfinger über dem oberen Rand der Patella (Kissen!), so daß die Lichtachse durch die Eminentiae intercondylicae geht (Fig. 157, 158 u. Tafel IV, Fig. 2).



Fig. 1.



Fig 2.

Bei dieser Aufnahme erscheint der Gelenkspalt, soweit dieses möglich ist, frei. Die Gegend der Eminentiae intercond. deckt sich jedoch immer teilweise mit den Kondylen. Ist die Einstellung der Lichtachse richtig, so erscheint die Patella frei schwebend vor den Kondylen.

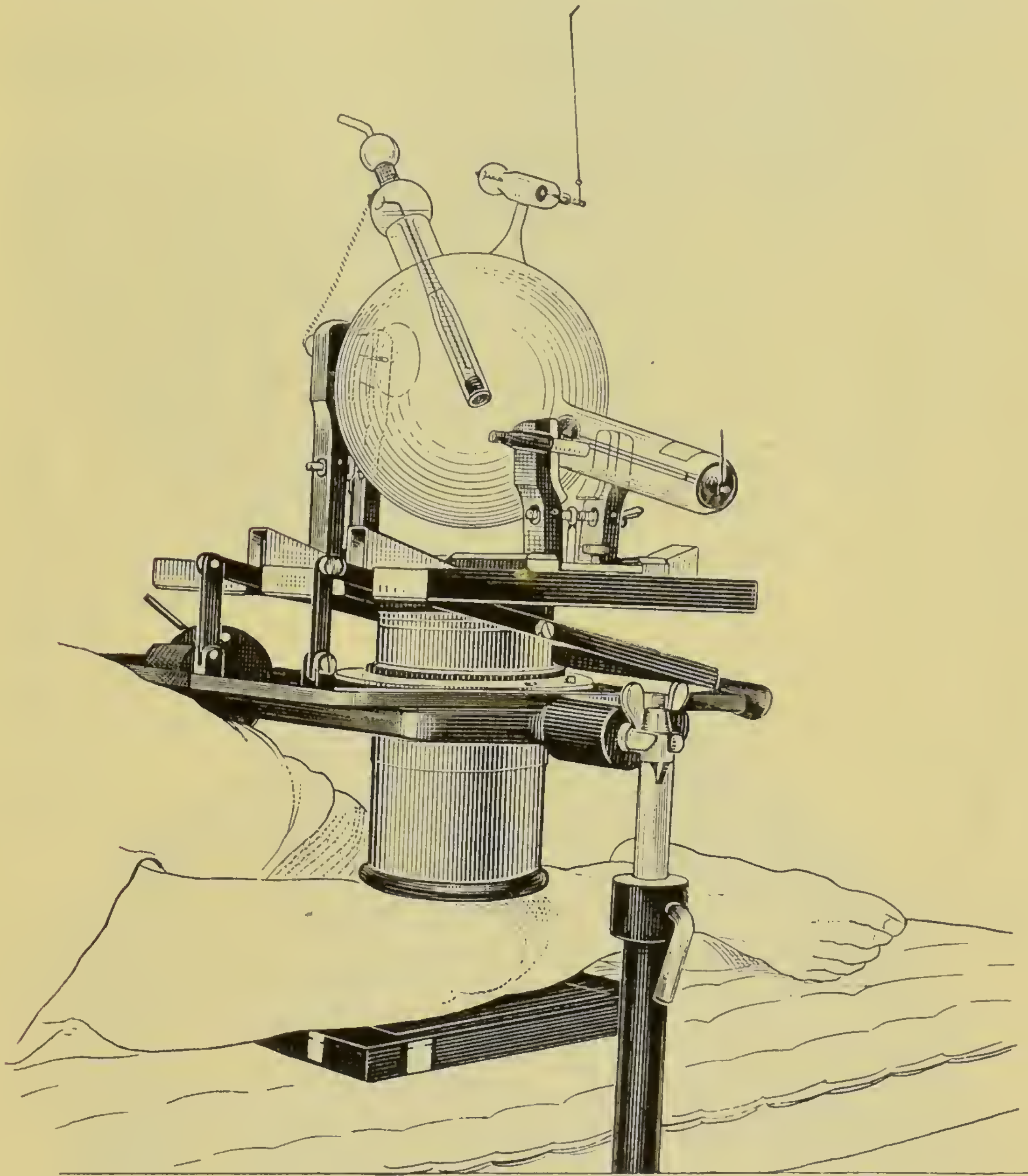


Fig. 157.

IIa. Dieselbe Lagerung mit Schrägstellung des Stereoskopzylinders (Kissen!), so daß die Lichtachse in die Kniekehle hinein auf die Eminentiae gerichtet verläuft. Durch diese Strahlenrichtung werden die Kondylen auseinandergebracht, wodurch man gewissermaßen in die Kniekehle hineinsieht. Die Patella schwebt dann nicht mehr frei vor den Kondylen, sondern in natürlicherer Lage zwischen den letzteren (Tafel V, Fig. 1).

Stellung II und IIa kann man ohne weiteres zur direkten stereoskopischen Betrachtung kombinieren.

III. Seitenlage des Patienten auf der Innenseite des Knies. Es müssen soviel Bretter untergeschoben werden, daß Ober- und Unterschenkel vollständig horizontal liegen. Das nicht zur Untersuchung kommende Bein ist wie oben beschrieben zu fixieren.

Die Aufnahme ergibt dasselbe Bild wie Stellung II, nur daß die innere statt der äußeren Seite der Platte direkt anliegt und daher schärfer wird.

Schemel nach Biesalski

Bei der Aufnahme des Kniegelenks von der Innenseite ersetzt man zweckmäßig die Bretterunterlage nach dem Vorschlag von Biesalski durch einen Schemel (Fig. 159). Wie Figur zeigt, liegt Patient vollständig in Seitenlage; das nicht zur Untersuchung kommende Bein liegt unter dem Schemel und das zu untersuchende Knie horizontal auf dem Schemel. Hierdurch wird in vorzüglicher Weise eine feste Unterlage für das Knie geschaffen und außerdem vermieden, daß infolge nicht horizontaler Lage perspektivische Verzeichnungen eintreten. Man stützt den Patienten bei allen Aufnahmen, die in Seitenlage gemacht werden, stets durch Sandsäcke im Rücken, da er meistens die Neigung hat, aus der Seitenlage sich in die Rückenlage zurückzudrehen.



Fig. 158.

IIIa. Dieselbe Lagerung mit Schrägstellung des Stereoskopzylinders wie sub IIa beschrieben.

IV. Bauchlage des Patienten. Das Bein ist soweit nach innen zu rotieren, daß die Patella möglichst frei, das heißt nicht von anderen Knochenpartien überlagert, auf der Platte liegt.

Der Zylinder wird schräg gestellt, so daß die Lichtachse schräg von außen nach innen verläuft.

Kniescheibe

Diese Aufnahme kommt dann zur Anwendung, wenn die Struktur der Kniescheibe von vorne untersucht werden soll. Da es sich hier manchmal um Knochenherde handelt, so kann die Aufnahme erforderlich werden. Frontalstrukturaufnahmen sind auf andere Weise nicht von der Patella zu erreichen.

Die Darstellung des Gelenkes zwischen Tibia und Fibula findet entweder in dieser Lage oder in Seitenlage bei flektiertem Knie mit Schrägstellung des Zylinders wie in IIa beschrieben statt.

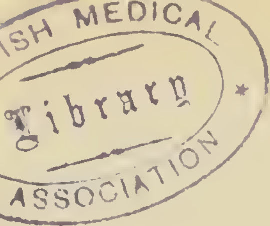
Man kann die Pression so energisch vornehmen, daß ein Zittern der Extremität absolut sicher ausgeschlossen ist. Exponiert man



Fig. 1.



Fig. 2.



mit einer weichen Röhre (W 6 B W 5) eine, bei einem grazilen Knie einer Dame oder eines Kindes etwa eine halbe Minute, K. E. 4—6 Sek., so erhält man Bilder von einer Vollendung, wie man sie sich besser kaum denken kann. Der Gelenkspalt erscheint vollständig klar, die Eminentiae intercondylicae mit ihren Höckern heben sich von der Tibia scharf und deutlich ab. Condylus ext. und int. tibiae

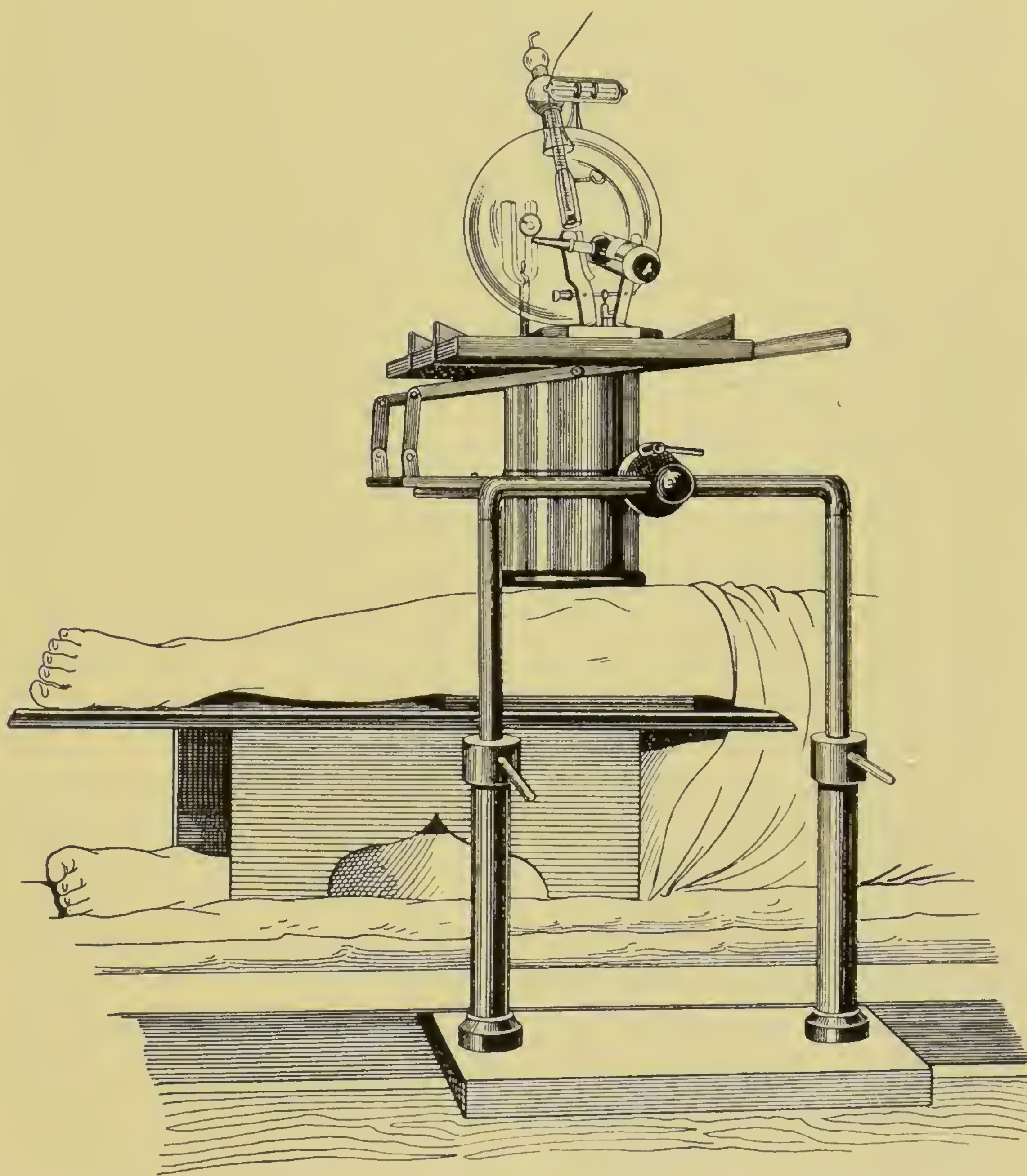


Fig. 159.

zeigen exakte Ränder. Die Gelenkfläche zwischen dem Capitulum fibulae und der Tibia ist zu erkennen. Die Kondylen des Oberschenkels sind präzise dargestellt, etwaige Corpora libera sieht man sowohl bei der Ansicht von vorn nach hinten, wie bei der Seitenansicht deutlich. Die ersteren geben im allgemeinen weniger scharfe Schatten als die übrigen Knochenteile, was seinen Grund Corpora libera

in ihrer mehr knorpeligen Beschaffenheit hat. Bei der Seitenansicht erscheint derjenige Condylus femoris, welcher der Platte anliegt, in natürlicher Größe, der der Platte abgewandte etwas vergrößert. Auch hier sieht man die Eminentiae intercondylicae. Das Ligamentum patellae hebt sich von den Weichteilen und dem Unterhautzellgewebe ab, die Bursae infra- und supra-patellares markieren sich mit genügender Schärfe, um ein Corpus liberum erkennen zu können. Auch die Bursa praepatellaris erscheint als Spalt. Verkalkungen der Arteria poplitea markieren sich stets, so daß man das Gefäß in großer Ausdehnung verfolgen kann. Wie schon erwähnt, ist es wichtig, darauf zu achten, daß der Gelenkspalt möglichst deutlich und klar hervortritt. Fehlerhaft ist es unter allen Umständen, wenn dieser durch Teile des Unter- oder Oberschenkels überprojiziert ist, denn bei Erkrankungen an Fungus genu z. B. spielt die Beurteilung der Weite des Gelenkspaltes eine Rolle. Der beginnende Fungus markiert sich ebensowenig, wie die beginnende Coxitis, es sei denn, daß man eine nennenswerte Verschmälerung des Gelenkspaltes der erkrankten Seite konstatiert. Erst in späteren Stadien der Krankheit wird es der Röntgenographie glücken, positive Resultate zutage zu fördern. Auch Muskeln wie der Sartorius, der Semimembranosus und Semitendinosus heben sich deutlich ab. Zu beachten ist das von allen Anfängern immer wieder von neuem entdeckte und bei einem großen Prozentsatz von Menschen vorkommende Sesambein (Fabella) in der Ursprungssehne des Gastrocnemius.

Poplitea-verkalkung

Fungus genu

Fabella

Das diagnostische Ergebnis der Knieuntersuchungen stand bisher im allgemeinen nicht im Verhältnis zur Güte der Bilder. Die große Mehrzahl der Knieerkrankungen sind Distorsionen oder Meniskusverletzungen. Letztere waren ebensowenig wie andere Knorpelverletzungen röntgenographisch darzustellen und blieben daher der klinischen Diagnose vorbehalten. Hier hat die von Cowl und Holzknecht warm empfohlene Aufblasung des Gelenkes mit Sauerstoff Wandel geschaffen. Die Arthritis deformans markiert sich bisweilen gar nicht, bisweilen durch kleine zapfenförmige Ausziehungen an den scharfen Kanten der Tibia resp. der Condylen des Oberschenkels oder durch Ausziehung der den Condylen zugewandten oberen und unteren Ecke der Patella oder nach Preiser durch Incongruenz der Gelenkflächen. Alte Exsudate sieht man oft recht gut im unteren Recessus.

Arthritis genu

III. Sauerstoffaufblasung des Kniegelenks.

Einen wesentlichen Fortschritt in der Technik der Knieuntersuchungen bedeutet die Sauerstoffaufblasung des Gelenkes mit nachfolgender Röntgenographie.

Diese Methode ist zuerst von Cowl und Holzknecht angegeben und dann von Robinsohn und Werndorff in die Praxis eingeführt worden, eine allgemeinere Anwendung hat sie in der Ausgestaltung von Wollenberg gefunden, welcher einen ungemein zweckmäßigen Apparat, der weiter unten beschrieben werden soll, angegeben hat. Sauerstoffaufblasungen des Kniegelenks

Leider ist, wie die Verhandlungen des Röntgenkongresses 1906 ergaben, die Methode nicht so ungefährlich, wie man anfangs annahm. Jacobsohn teilte einen durch Sauerstoff-Embolie bedingten Todesfall mit. Wenn auch die Todesursache nicht als absolut sicher festgestellt gelten kann, so ist doch nicht zu leugnen, daß die Möglichkeit einer Schädigung des Patienten vorliegt, namentlich wenn man nicht mit größter Vorsicht verfährt. Trotzdem wird von maßgebender Seite geraten, die klinisch so ungemein nützliche Methode unter Anwendung aller Kautelen weiter zu benutzen. Während die gewöhnlichen Röntgenbilder des Kniees von den Weichteilen wenig zeigen, sieht man auf den mit Sauerstoffeinblasungen behandelten Gelenken eine Menge von Einzelheiten, die für die Diagnose von größter Wichtigkeit sind. — Wie Fig. 2 auf Tafel V zeigt, erkennt man den oberen Recessus mit der ihn teilenden Synovial-Duplikatur, desgleichen den hinteren Recessus, welcher, entsprechend den beiden Condylen, doppelt sichtbar ist. Der vordere Gelenkspalt, wie das subpatellare Fettgewebe ist deutlich. Die Menisken, die Ligg. cruciata erscheinen auf Bildern, welche in Vorderansicht gemacht sind. Die diagnostische Bedeutung in pathologischen Fällen ist eine große. Besonders die freien Gelenkkörper, welche mit der Methode ohne Sauerstoff nur schwer und in besonders günstigen Fällen zu sehen sind, kommen bei Zuhilfenahme von Sauerstoff hervorragend schön zum Vorschein. Meniskusverletzungen, Synovialtuberkulose, chronische Gelenkveränderungen, Synovialverdickungen, Arthritis, Tuberkulose u. a. m. sind mittels dieses kombinierten Verfahrens darstellbare Krankheiten. Auf Tafel V, Fig. 2, ist die Verkalkung des art. poplitea sehr gut zu sehen. Mittels Insufflation nachweisbare Krankheiten

Das Prinzip des Wollenberg-Drägerschen Apparates besteht darin, daß an Stelle des im Handel erhältlichen Sauerstoffs, welcher in Bomben verkauft wird und oft durch Stickstoff verunreinigt ist, chemisch reines Gas benutzt wird. Letzteres wird durch Katalyse Wollenberg-Drägerscher Apparat

aus chemisch reinem Wasserstoff-Superoxyd hergestellt. Nach Silberstein ist es nicht notwendig Perhydrol zu verwenden, sondern es genügt, das Hydrogenium peroxydat. medicin. 10 Volumprozent bzw. 3 Gewichtsprozent zum Preise von ungefähr Mk. 35 per 100 kg zu benutzen.

Beim Hineinwerfen der als Katalysator dienenden Pastille von Kalium permanganatum in diese Flüssigkeit, muß eine lebhafte Sauerstoffentwicklung eintreten.

Wollenberg beschreibt seinen Apparat mit folgenden Worten:

Fig. 160.

„Der Apparat[1]) (siehe Fig. 160) zerfällt in zwei durch Schraubenstöpsel verbundene Gefäße, ein Entwicklungsgefäß (*a*) und ein Expansionsgefäß (*b*). Durch den Schraubenstöpsel (*c*) ragt das gleichzeitig zur Zuführung des Katalysators dienende Steigerohr (*d*) hindurch. Dieses Rohr ist durch das Expansionsgefäß hindurchgeführt und reicht bis zu einem Stutzen (*e*) in der Decke dieses Gefäßes, um als Führung für die in das Entwicklungsgefäß einzuführende Katalysepille zu dienen; es ist oben und unten mit einer seitlichen Öffnung (*f*) versehen, damit der freie Übertritt der Flüssigkeit aus dem Gefäß (*a*) in das Gefäß (*b*) und zurück nicht behindert ist. Der Stutzen (*e*) trägt eine einfache Vorrichtung, um den Katalysator in das Steigrohr hineinzuwerfen, ohne daß der Gasdruck im Innern des Gefäßes eine Änderung erfährt. Ferner befindet sich an der Decke des Gefäßes (*b*) ein Manometer (*h*) und ein Sicherheitsventil (*i*).

Von der Decke des Entwicklungsgefäßes (*a*) zweigt ein Stutzen (*k*) ab, welcher einen in das Innere des Gefäßes reichenden Ansatz

[1]) Der Apparat ist erhältlich in der Sauerstoffzentrale von Dr. Ernst Silberstein, Berlin NW., Karlstraße.

(*l*) besitzt und mit einem Reduzierhahn (*m*) ausgestattet ist; auf das freie Ende des Stutzens (*k*) wird der Schlauch mit der Hohlnadel (*q*) aufgestreift.

Die Benutzung des Apparates gestaltet sich nun folgendermaßen: Nach Abschrauben des Gefäßes (*b*) wird das Gefäß (*a*) mit einer 3proz. Wasserstoffsuperoxydlösung bis zum Überlaufen gefüllt, und nach erfolgtem Schließen des Hahnes (*m*) das Gefäß (*b*) unter Einführung des Rohres (*d*) wieder aufgeschraubt. (Die Schraubengewinde liegen unter dem Flüssigkeitsspiegel, so daß Luftzutritt bei dieser Manipulation ausgeschlossen ist.) Hierauf wird eine Katalysatortablette durch das Steigrohr in das untere Gefäß geworfen; sofort beginnt die Entwicklung des Sauerstoffes, der sich unter der Decke des Gefäßes (*a*) ansammelt und bei jetzt geöffnetem Hahn die Flüssigkeit heraustreibt, welche zugleich die noch in dem Schlauch befindliche Luft herausdrängt. Ist in dem Gefäß (*a*) die Flüssigkeit unterhalb des Ansatzes (*l*) gesunken, so hört auch der Austritt von Flüssigkeit aus der Nadel auf, so daß nunmehr also Sauerstoff aus der Nadel strömt. Sobald dieses Phänomen eingetreten ist, hält man die Nadel unter Alkohol, um den erneuten Luftzutritt in den Schlauch zu verhüten und schließt den Hahn (*m*) ab, so daß die weitere Sauerstoffentwicklung bis zu der gewünschten Druckhöhe vor sich gehen kann. Hierbei tritt die durch den entwickelten Sauerstoff verdrängte Flüssigkeit durch das Rohr (*d*) in daß Gefäß (*b*), in welchem die dort vorhandene Luft komprimiert wird, so daß sie gewissermaßen als Luftkissen dient. Das Sicherheitsventil (*i*) ist so eingestellt, daß es beim Überschreiten eines gewissen Maximaldruckes sich öffnet und die Luft aus dem Gefäße (*b*) entweichen läßt.

Die Größe des Gefäßes (*b*) ist so gewählt, daß dieses die Flüssigkeit von der Unterkante des Ansatzes (*l*) bis zum oberen Rande der Öffnung (*s*) des Rohres (*d*) aufzunehmen vermag und bei vorgeschriebenem Maximaldruck und entsprechender Einstellung des Sicherheitsventils (*i*) noch ein so großes Quantum Luft aufnehmen kann, daß diese bei dem vorgeschriebenen Druck noch genügende Spannung besitzt, um bei Außerbetriebsetzung des Apparates sämtliche Flüssigkeit aus dem Gefäß (*b*) durch das Rohr (*d*) wieder zurück noch dem Gefäß (*a*) treiben zu können.

Will man nun die Einblasung ausführen, so öffnet man den Reduzierhahn, so daß nun Sauerstoffbläschen aus der im Alkohol liegenden Nadel aufsteigen. Je weiter man den Hahn öffnet, desto größer und frequenter werden die Bläschen. Zweckmäßig sticht man die Nadel bei einer Stellung des Hahnes auf $1^1/_2$ der Skala in das Gelenk ein; ist die Nadelspitze frei in der Gelenkhöhle, so öffnet

man den Hahn bis auf 2, höchstens 3 der Skala. In wenigen Augenblicken ist das Gelenk mit Sauerstoff gefüllt, was sich aus der Vorwölbung und dem tympanitischen Perkussionsschall leicht nachweisen läßt. Man führt die Einblasung zweckmäßig so aus, daß der Sauerstoff unter einem Druck von $^1/_2$ bis $^3/_4$ Atmosphäre aus der Nadel austritt."

Die Nadel und der Schlauch müssen auf das sorgfältigste ausgekocht werden, ebenso findet eine genaue Desinfektion der Haut über dem Kniegelenk statt. Man hüte sich unter zu hohem Druck das Gas in das Gelenk einströmen zu lassen, da hierdurch Kapselrisse des oberen Recessus mit Austritt des Sauerstoffs in das umgebende Gebiet und in die Muskulatur vorkommen können. Sodann ist es wichtig eine möglichst enge Kanüle zu benutzen, da anderenfalls das Gas sofort wieder durch den Stichkanal entweicht.

Nach den Vorschriften Wollenbergs ist besonderes Gewicht darauf zu legen, daß die Nadel nur unter ganz gelindem Durchströmen des Sauerstoffes durch die Weichteile rasch hindurch gestoßen wird. Auf diese Weise soll, selbst wenn eine Vene angestochen wird, nur ein minimales und daher ungefährliches Quantum Sauerstoff in das Gefäß einströmen können. Die eigentliche Einblasung vollzieht sich erst dann, wenn die Spitze der Punktionsnadel zwischen der Kniescheibe und den Femur-Condylen liegt. Außerdem hat man sich durch klinische Untersuchung vorher davon zu überzeugen, ob Schrumpfungen, Verwachsungen oder dergleichen in der Gelenkkapsel vorliegen, und hiernach das Quantum des einzublasenden Sauerstoffes zu dosieren. Es wird so lange mit der Einblasung fortgefahren, bis das Gelenk prall gespannt ist; Schmerzen darf der Patient hierbei nicht empfinden. Während der Einblasung kontrolliert man den Füllungszustand des Gelenkes durch Percussion. Zu beachten ist der Vorschlag von Schwarz, oberhalb des Kniegelenkes einen Esmarchschen Schlauch anzulegen und diesen erst nach Beendigung der Aufnahme nach und nach zu lüften. Hierdurch sollen größere plötzliche Gasansammlungen im zirkulierenden Blut vermieden werden können. Nach Beendigung der Sauerstoffeinblasung, welche zweckmäßig auf dem Röntgenuntersuchungstisch vorgenommen wird, wird der Kompressionsblendenzylinder (13 cm) in der üblichen Weise leicht auf das Knie aufgesetzt, wobei man sich selbstverständlich vor jeder Kompression zu hüten hat. Die Fixierung des Beines muß in diesem Falle mittels Sandsäcken vorgenommen werden.

IV. Der Unterschenkel.

Vom Unterschenkel gilt dasselbe wie vom Oberschenkel. Auch hier sollen, wenn irgend möglich, orientierende Übersichtsbilder vorangehen, um die gröbere Lokalisation von Krankheitsherden vorzunehmen. Die exakte Einstellung mittels der Blenden hat dann zu folgen. Die Sequester sind leichter im Unterschenkel als im Oberschenkel darzustellen, weil man den ersteren der Platte näher bringen kann. Die Aufnahme in zwei senkrechten Ebenen ist immer angezeigt, besonders, wenn es sich um Osteomyelitis oder um syphilitische Erkrankungen handelt. Die periostalen Auflagerungen an der Tibia oder Fibula markieren sich deutlich, namentlich, wenn dieselben zirkulär gelagert sind. Ist dieses nicht der Fall, so ist es, um keine eventuellen Auflagerungen zu übersehen, wichtig, die verschiedensten Durchleuchtungsrichtungen in Anwendung zu bringen. Bei Frakturen am Malleolarende der Tibia kann sehr wohl noch eine Fraktur des oberen Endes der Fibula vorliegen. Diese Vorkommnisse werden nicht übersehen, wenn man sich zum Prinzip macht, außer den exakten Strukturdarstellungen Übersichtsbilder der Extremitäten herzustellen. Es ist sehr verführerisch, eine Untersuchung abzubrechen, wenn man eine Fraktur beispielsweise am unteren Ende der Tibia gefunden hat. Der Bruch am oberen Ende der Fibula kann eventuell so wenig Schmerzen machen, daß man ihn mit Sicherheit glaubt ausschließen zu können. Unterschenkel

Die Längsblende gestattet Aufnahmen fast des ganzen Unterschenkels unter Garantie exakter Strukturdarstellung. Sie ist daher besonders zur Anfertigung von Übersichtsaufnahmen zu empfehlen. Meist werden die letzteren so gut, daß man auf Detailaufnahmen verzichten kann.

Um bei Seitenlage des Beines Tibia und Fibula voneinander zu trennen, setze man den Zylinder schräg auf die Wade.

V. Die Füße.

Eine komplette Fußuntersuchung soll vollständigen Aufschluß über die Strukturverhältnisse sämtlicher Knochen des Fußes, über seine Gelenkverbindungen, sowie über das Talocruralgelenk geben. Um diesen Anforderungen mittels des Röntgenverfahrens gerecht zu werden, bedürfen wir ***fünf typischer Aufnahmestellungen,*** welche im folgenden besprochen werden sollen. Füsse

I. Stellung: Darstellung des Talocruralgelenkes von vorne.

Talocruralgelenk

Die Aufnahme zeigt einen deutlichen, nirgends überlagerten Gelenkspalt, den inneren und äußeren Malleolus, Tibia, Fibula und Talus, durch letzteren hindurch denjenigen Teil des Calcaneus, welcher der Platte direkt anliegt.

Man legt den Patienten in Rückenlage auf den Untersuchungstisch. Die in Fig. 161 skizzierte hölzerne Schiene dient zur Fixierung der unteren Extremität. Sie besteht aus einem 78 cm langen, 14 cm breiten Brett, auf dessen einem Ende, 12 cm von der Kante entfernt, ein Brett von 26 cm Länge und 12 cm Breite senkrecht angebracht ist. Die untere Extremität wird so auf dieses Brett gelegt, daß die Fußsohle an dem senkrecht stehenden Teil der Schiene vollständig anliegt. Mittels einer Esmarchschen Gummibinde werden



Fig. 161.

einige Touren um den Fuß gewickelt, damit derselbe fest an dem aufrecht stehenden Brett fixiert ist. Auf die überstehende Kante der Schiene wird zur weiteren Befestigung ein schwerer Sandsack gelegt. Eine photographische Platte vom Formate 18/24 (event. 13/18) wird so unter den Fuß geschoben, daß die Hacke auf der die Platte enthaltenden Kassette ruht. Oberhalb des Knies wird ein Sandsack gelegt, um eventuelle Bewegungen oder Zittern der Extremität mit Sicherheit auszuschließen. Das in dieser Weise gelagerte Bein liegt sicher, so daß der Kranke kaum imstande ist, irgendwelche Bewegungen auszuführen. Mittels eines Blaustiftes markiert man sich die Stelle des Talocruralgelenkes.

Ich nehme im vorliegenden Falle an, daß die Wandarmblende zur Benutzung kommen soll. Diese wird so über dem mittels Dermatographen bezeichneten Punkt zentriert, daß ein durch die Mitte des Diaphragma gefälltes Lot genau die Stelle des Talo-

cruralgelenkes trifft. Handelt es sich darum, ausschließlich das Gelenk, sowie die beiden Malleolen darzustellen, so genügt eine Platte 13/18. In diesem Falle wird auf das die Röhre tragende Blendenbrett ein Bleidiaphragma, vom Durchmesser 4 cm, gesetzt und der Wandarm so hoch eingestellt, daß zwischen Oberfläche des Diaphragma und Platte eine Entfernung von 21 cm ist. Wie schon an anderer Stelle auseinandergesetzt, genügt diese Entfernung

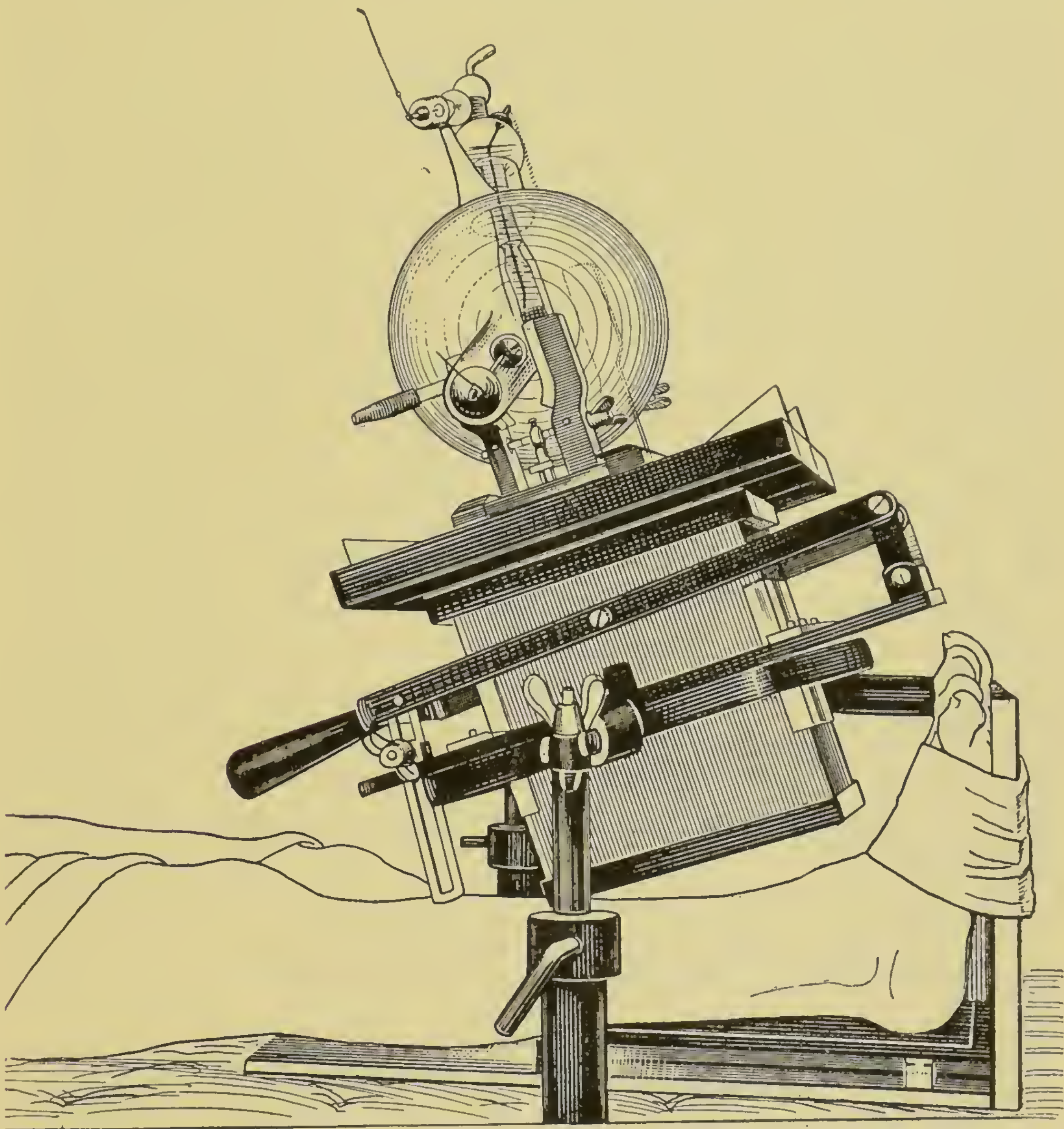


Fig. 162.

bei der in Frage stehenden Blendenweite, um eine Platte 13/18 vollständig auszuzeichnen. Handelt es sich dagegen um einen Fall, in welchem es erwünscht erscheint, größere Strecken der beiden Unterschenkelknochen darzustellen, so wird als Diaphragma ein solches von $4^1/_2$ cm Durchmesser gewählt und der Abstand auf 26 cm erhöht. Dieser in Verbindung mit der eben genannten Blendenweite genügt, um eine Platte 18/24 zu decken. Man ex-

poniert 1—2 Min., K. E. 2—3 Sek., mit der Röhrenqualität W 6 BW 5. In gleicher Weise wie bei dem Blendenarm wird mit der Tischblende verfahren, so daß auch hier das Lot genau auf die Stelle des Talocruralgelenkes eingestellt wird. Ob man die Wandarmblende oder die Tischblende für diese Aufnahme nimmt, bleibt für die Qualität des Bildes gleich. Man sieht die scharfe Struktur beider Knöchel, sowie teilweise Strukturandeutungen auf dem Talus.

Schneller und leichter ausführbar ist das Kompressionsblendenverfahren, auch werden die Bilder besser. In diesem Falle wird das auf die Schiene gewickelte Bein so unter das Rohr gelegt, daß man durch die obere Öffnung den zu röntgenographierenden Bezirk überblickt. Das Talocruralgelenk muß sich wiederum in der Lichtachse befinden. In dieser Lage läßt sich die Röhrenblende nicht fest auf das Gelenk drücken, da der Fußrücken im Wege ist. Man verzichtet infolgedessen auf die Wirkung der direkten Kompression, drückt aber nach Zwischenlage von Fils die äußere Wand des Kompressionsrohres gegen den Fußrücken, wodurch die Wirkung der Esmarchschen Binde noch erhöht wird. Die Expositionszeit ist die gleiche. Die Strukturdetails fallen vollendet schön aus. Auch der Talus wird noch gute Knochenzeichnung aufweisen. Da bei ventrodorsaler Aufnahme des Talocruralgelenkes in Fällen von Malleolarfraktur die Bruchspalte der Platte nicht unmittelbar aufliegt, so empfiehlt sich (Grashey) eine etwas weitere Fokus-Platten-Distanz wie sie die Kastenblende (Fig. 162) gewährt. Besonders hier ist eine sorgfältige Kissenzwischenlage erforderlich. Die Aufnahme des Talocruralgelenkes in Seitenansicht wird praktisch wohl weniger in Betracht kommen, ihre Beschreibung fällt unter Stellung II.

II. Stellung: Darstellung des Talocruralgelenkes von der Seite sowie des Calcaneus, Talus, Naviculare und Cuboideum.

a) Seitenlage auf der äußeren Fußkante.
b) Seitenlage auf der inneren Fußkante.

Die Wahl der Seite entscheidet sich je nach dem zu untersuchenden Fall.

Handelt es sich um die innere Seite, so kommt natürlich diese auf die Platte und vice versa. In scharfer Seitenlage erhalten wir bei Übersichtsbildern des Fußes, vorausgesetzt, daß die Lichtachse auf das Os scaphoideum eingestellt worden ist, ein anatomisch im allgemeinen richtiges Skelettbild der genannten Fußwurzelknochen. Das Talocruralgelenk erscheint als deutlicher Spalt, desgleichen die Gelenkspalten zwischen Calcaneus und Talus, zwischen Cuboideum und Calcaneus, die Artikulation zwischen Cuboideum und Mittel-

fußknochen, sowie zwischen Talus und Scaphoideum und zwischen dem letzteren und dem Cuneiforme. Das Fußgewölbe zeigt sich deutlich in seiner Wölbung. Die Fascie, sowie die Muskulatur der Fußsohle setzen sich einerseits von den Skelettpartien, andererseits von dem Unterhautzellgewebe ab. Die Achillessehne markiert sich in bekannter Weise, verkalkte Gefäße, welche der Tibialis post. und antica oder der Dorsalis pedis zugehören, erkennt man in ihrer anatomischen Lage. Die kleinen, in die Gefäßwand eingelagerten Kalkplättchen zeigen sich überraschend scharf. Das Lumen der Gefäße ist deutlich zu erkennen. Unter Umständen kann man arteriosklerotische Gefäße, bei denen Verkalkungen nicht vorliegen, nachweisen.

Wenn auch die Bilder im allgemeinen bei den Übersichtsaufnahmen für gröbere Diagnosen gut genug ausfallen, so wird doch in vielen Fällen noch ein erhöhter Grad von Schärfe nötig sein, z. B. wenn es sich um das Aufsuchen eventueller Knochenherde oder versteckt liegender Frakturen handelt. Ich empfehle für solche Fälle die Aufnahme mit Blenden vorzunehmen. Der Fuß wird beispielsweise mit seiner Außenkante auf eine Kassette, welche mit einer Platte 18/24 armiert ist, gelegt und mit der Esmarchschen Binde, von den Zehen beginnend in gleichmäßigen Touren auf der Platte fest bandagiert. Der Druck, welchen der Malleolus ext. erleidet, wird häufig schmerzhaft empfunden, jedoch findet sich der Patient in den allermeisten Fällen hiermit ab, event. kann man, ohne das Bild zu schädigen, Watte unterlegen. Nachdem der Fuß vollständig auf der Platte mit der Binde fixiert ist, wird entweder die Tisch- oder die Wandarmblende, je nachdem es sich um Platten 13/18 oder 18/24 handelt, mit Diaphragma Nr. 4 oder $4^1/_2$ armiert und die Röhre in der üblichen Weise über dem Fuß eingestellt. Es empfiehlt sich, das Os scaphoideum als Einstellungspunkt zu wählen, was zweckmäßiger ist, als einen der Knöchel hierzu zu benutzen, da die Zeichnung des Bildes anatomisch richtiger bei Wahl des Kahnbeines als Einstellungspunkt ausfällt. Die Exposition beträgt zwischen ein und zwei Minuten, K. E. 2—3 Sekunden. Die Qualität der Röhre ist weich (W 6 BW 5), wie beim Talocruralgelenk. Benutzt man die Kompressionsblende, so fällt das Einbandagieren des Fußes mittels Gummibinden fort. Es ist dieses

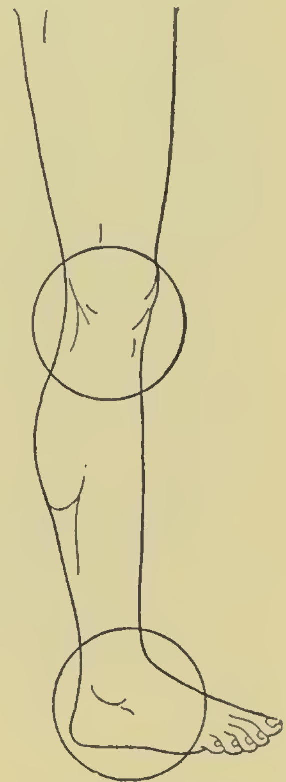


Fig. 163.

ein Vorteil, denn es passiert sehr leicht, daß der Fuß infolge des Bindenzuges plantarflektiert wird, was für den vorliegenden Fall nicht erwünscht ist. Mittels der Kompressionsblende (Einstellung siehe Fig. 163) sind wir dagegen imstande, den Fuß scharf auf seine äußere oder innere Kante zu stellen und ihn, nachdem ein Wattekissen zwischengelegt ist, durch Druck der Zylinderblende in dieser Stellung festzuhalten. Die Strukturverhältnisse werden natürlich mit der Kompressionsblende außerordentlich viel besser als ohne dieselbe. Man kann Kompressionsrohr (13 cm) oder (10 cm) wählen, je nach der Größe des Fußes. Mit beiden wird man gleich gute Resultate erzielen. Ersteres empfiehlt sich bei kleineren Füßen für Platte 13/18, letzteres bei größeren für Platte 18/24. Die Aufnahme von der Innenseite erfolgt in genau derselben Weise, wie oben beschrieben, nur hat man den Patienten so zu lagern, wie dieses für die seitliche Knieaufnahme (Fig. 159) beschrieben worden ist. Man versäume nicht, ihm bei Aufnahmen in dieser Stellung schwere Sandsäcke in den Rücken und eventuell unter das Gesäß zu schieben, denn es ist schwer ohne Stützpunkt in Seitenlage absolut ruhig zu liegen. Auch muß der Kopf bei solchen Aufnahmen fest auf einer Nackenrolle ruhen, damit der Körper des Kranken nicht durch irgendwelche Anstrengungen der Muskulatur ermüdet und dadurch unruhig wird.

Während die geschilderten Aufnahmen Bilder geben, welche größtenteils zur Diagnose ausreichend sein werden, liegt häufig das Bedürfnis vor, die Fußwurzelknochen so isoliert zur Darstellung zu bringen, daß möglichst keiner derselben den andern deckt, denn bei der Seitenlage haben wir eine Deckung der drei Cuneiformia, sowie der Mittelfußknochen. Verzichtet man auf die genaue anatomische Lage und geht darauf aus, jeden einzelnen Fußknochen der Fußwurzel, sowie des Mittelfußes, als solchen genau zu zeigen, so findet Stellung III ihre Anwendung.

Fusswurzel-Darstellung

III. Stellung (Plantarflexion): Darstellung der Fusswurzelknochen und der Metatarsen mit dem besonderen Zwecke, eine Überlagerung einzelner Knochenpartien, namentlich der sich oft deckenden Mittelfussknochen, zu vermeiden.

Die Lagerung findet so statt, daß Patient sich beispielsweise auf die rechte Seite legt, und zwar soweit herum, daß er schon mit einem Teil der Brust und des Bauches rechts die Unterlage berührt. Infolge dieses Überkippens des Körpers nach der rechten Seite liegt der entsprechende Fuß mit dem Fußrücken auf der Kassette, und in dieser Stellung wird er nun durch starken





Bindenzug fixiert oder, was hier mehr zu empfehlen ist, mittels der Kompressionsblende auf der Unterlage festgepreßt. Die Durchstrahlung findet, also von der Fußsohle her so statt, daß die Lichtachse etwa durch die Basis des II. Metatarsus geht. Metatarsus I und II, sowie die Cuneiformia befinden sich in Deckung. Zu ihrer Darstellung kommt Stellung IV in Betracht. Die Platten zeigen in schöner Weise die einzelnen Fußwurzel- und Mittelfußknochen, sowie die Gelenkspalten, die letzteren namentlich zwischen dem ganz freiliegenden Cuboideum und den benachbarten Knochen, desgleichen die Metatarsen (Tafel VI). Die Aufnahme ist zum Nachweis von Frakturen, Knochenherden, Gelenkaffektionen usw. zu gebrauchen. Das Ende des Calcaneus wird weniger gut als bei den exakt seitlich gemachten Bildern, weil er der Platte nicht fest anliegen kann; deswegen versäume man nicht, unter den letzteren im Interesse der absoluten Festlagerung einen kleinen Wattesack zu legen. Da indessen diese Stellung nicht zur Darstellung der Hacke benutzt wird, sondern nur zur Aufnahme der übrigen Fußknochen dient, kommt der Umstand nicht in Betracht. Wie schon oben gesagt, haben wir auch die Metatarsen III—V auf diesen Platten in übersichtlicher und voneinander getrennter Position. Bei der gleich zu beschreibenden IV. Stellung decken sich die Basis des III. und IV. Metatarsus; etwaige hier sitzende Frakturen könnten also übersehen werden. Zur Vermeidung dieses Fehlers dient ganz besonders die eben beschriebene Plantarflexionsstellung.

IV. Stellung: Darstellung der peripheren Fusswurzelknochen, der peripheren Teile der Metatarsen und der Zehen.

Metatarsen-Darstellung

Patient wird auf einen Stuhl, welcher auf den Untersuchungstisch gestellt wird, gesetzt. Die oben abgebildete und beschriebene Schiene wird so angelegt, daß ihr Ende auf einem Holzklotz von der Höhe von 11 cm aufliegt und der vertikale Teil an die Wade gestellt wird. Die Fußsohle steht dementsprechend auf der horizontalen Platte. Eine Esmarchsche Binde wird um das Brett, den ganzen Fuß und um die Wade und den aufrechten Teil der Holzschiene gelegt. Nunmehr wird der Holzklotz, welcher durch Emporheben der Schiene die Anlage der Binde erleichtern sollte, entfernt und der Fuß mitsamt der Schiene horizontal auf die Tischplatte gestellt. Die Röhre wird über dem Fußrücken so zentriert, daß sich der Fokus senkrecht über der Basis des dritten Metatarsus befindet. Eine Blende läßt sich hier nur schwer anwenden, da diese gegen das Schienbein stoßen würde. Man wird daher gut tun, entweder keine Blenden zu benutzen, oder,

wie wir später sehen werden, die Kompressionsblende. Der Abstand der Röhre von der Platte muß etwa 30 cm betragen, die Belichtungsdauer eine halbe Minute bei weicher Röhre (W 6 BW 5) K. E. 2 Sek. Wir erhalten auf der Platte die sämtlichen Mittelfußknochen, sowie die Zehen. Die Metatarso-Phalangealgelenke erscheinen als deutliche Spalte. Die Interphalangealgelenke zwischen den einzelnen Phalangen sind dagegen nicht als Spalte, sondern durch darüber projizierte Knochenteile verdeckt, sichtbar. Das Lisfrancsche Gelenk ist stets, das Chopartsche unter günstigen Umständen differenzierbar. Die Aufnahme ist fehlerhaft, wenn die Mittelfußknochen nicht vollkommen voneinander getrennt, sondern teilweise

Lisfranc-Chopart

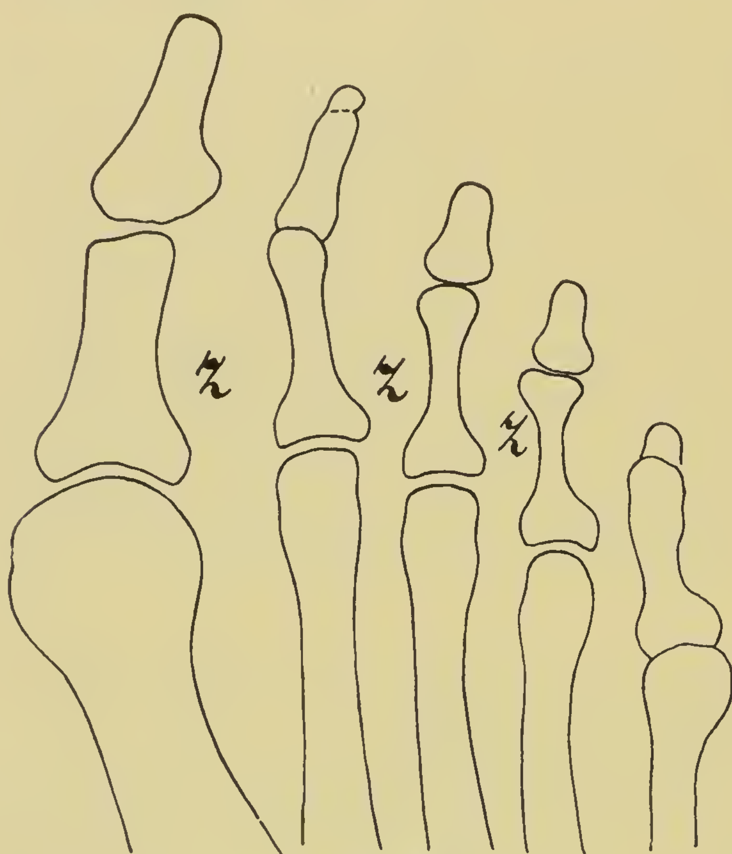


Fig. 164.


Fig. 165.

aufeinander projiziert sind. Es ist dieses ein Zeichen für falsche Einstellung der Röhre. Bei einer richtigen Aufnahme soll, wie Fig. 164 zeigt, der Abstand (*Z*) zwischen den Grundphalangen der großen Zehe und Mittelzehe größer sein, als derjenige zwischen den Phalangen der Mittelzehe und dritten Zehe, desgleichen als der Abstand zwischen den Phalangen der dritten und vierten Zehe. Dieses ist wichtig, weil beispielsweise Verlagerungen der Sesambeine der großen Zehe in dem Raum zwischen dem ersten und zweiten Mittelfußknochen vorkommen. Durch falsche Einstellung können diese pathologischen Befunde vorgetäuscht werden. Auch zur Beurteilung geringer Valgusstellung der großen

Zehe ist es erforderlich, daß ein solches Bild in seinen Projektionsverhältnissen richtig ist.

Wenden wir die Kompressionsblende für diesen Fall an, so muß der Zylinder oder die Kastenblende, wie Fig. 165 und 166 zeigen, so schräg gestellt werden, daß die Lichtachse durch die

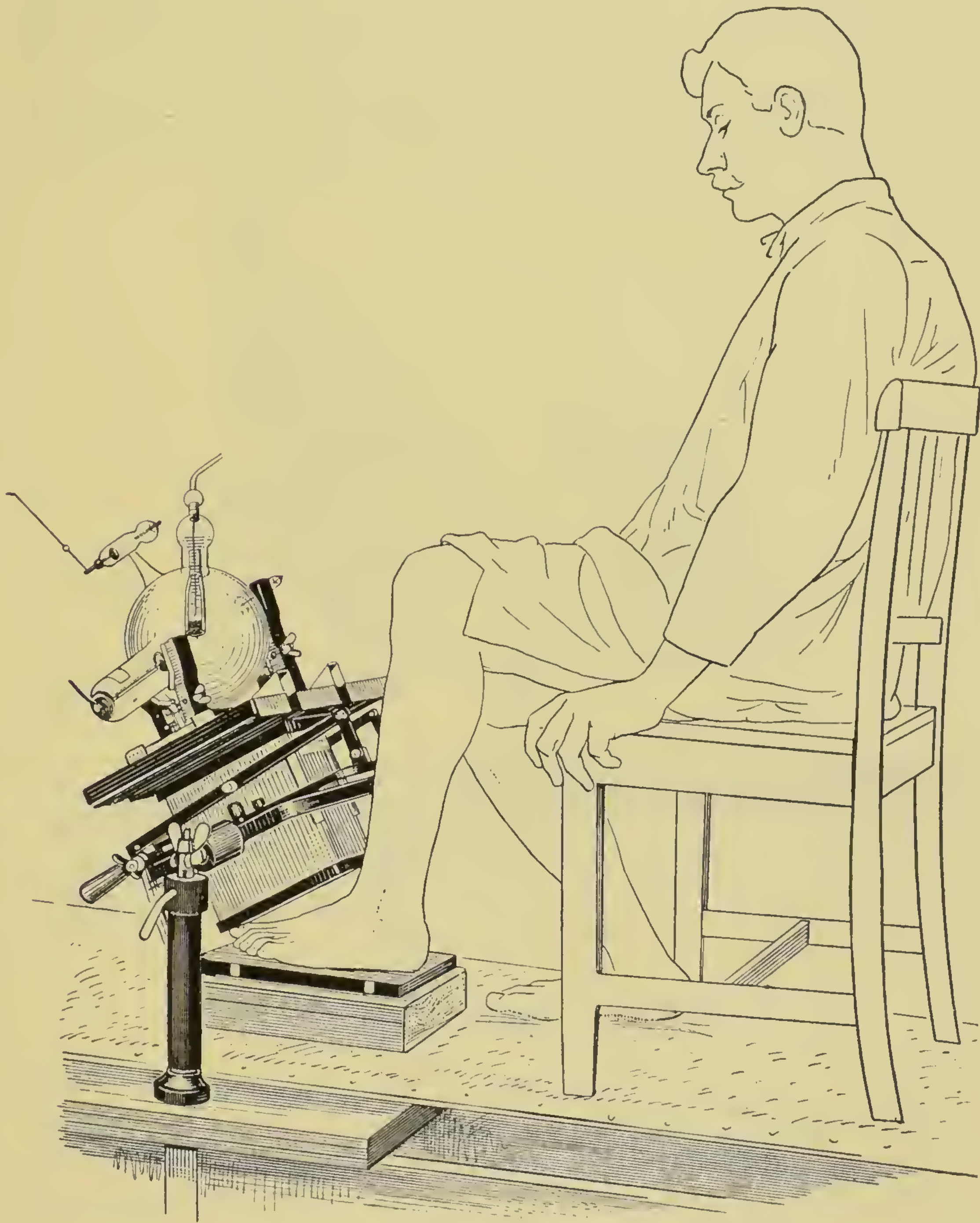


Fig. 166.

Basis des III. Metatarsus geht. Es bedingt diese Einstellung einen gewissen Projektionsfehler, da die Zehen etwas zu sehr in die Länge gezogen erscheinen, allerdings gewinnt man wieder den Vorteil, daß die Fußwurzelknochen wesentlich schärfer herauskommen und in ihrer Gesamtheit in dieser Stellung Struktur

zeigen. Sehr bequem ist auch die Aufnahme im Liegen (Fig. 167) unter Benutzung des dreieckigen Bockes für Nierensteinaufnahmen zu machen. Allerdings kommt hierbei immer eine leichte Spitzfußstellung in Betracht.

Zehenaufnahme

Bei der Zehenaufnahme ist die Einstellung die gleiche, wie bei der Untersuchung der Mittelfußknochen, so zwar, daß der Fokus der Röhre über der Mitte der Grundphalanx der dritten Zehe steht. Auf diese Weise erhalten wir Bilder, welche die Gelenke als wirkliche Spalten zeigen. Dieses ist bei chronisch arthritischen

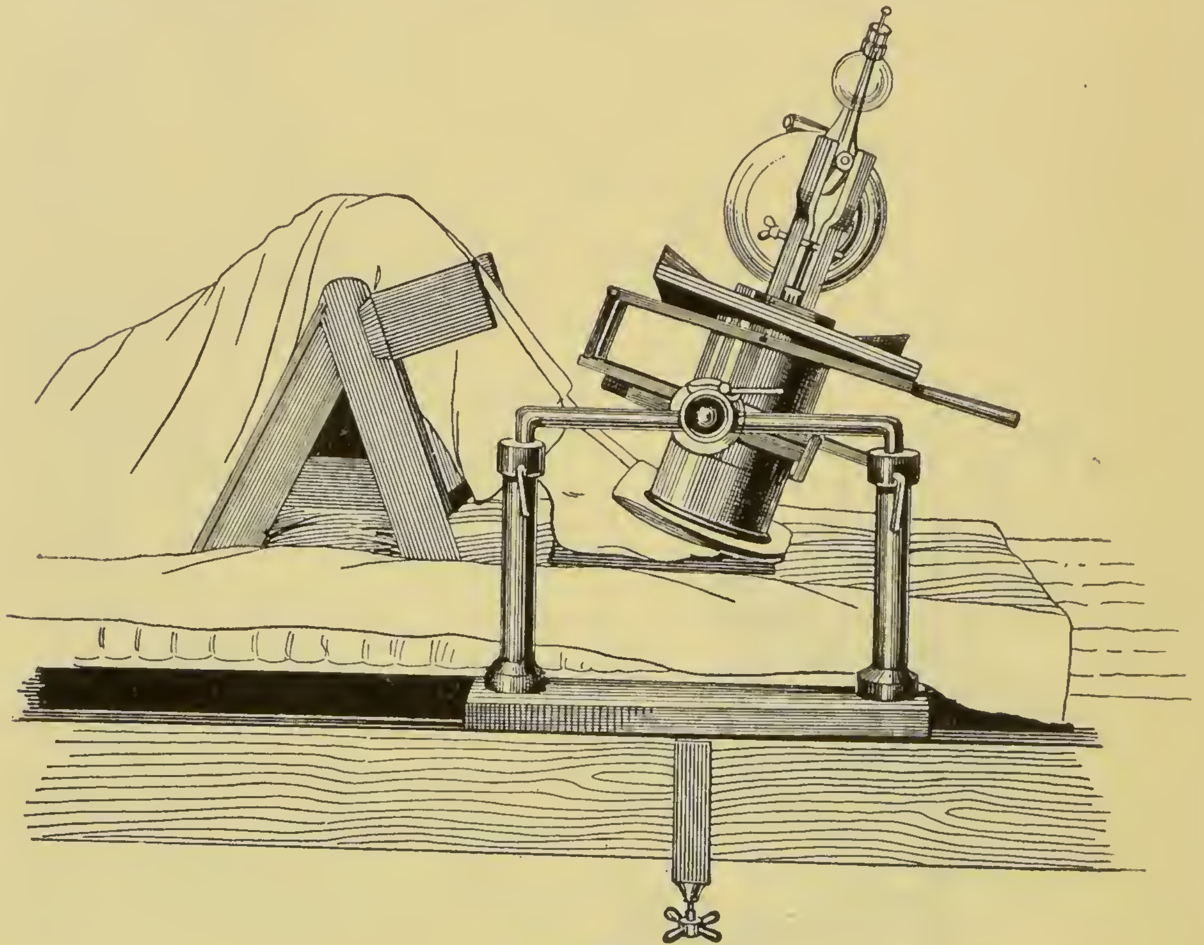


Fig. 167.

Gelenkveränderungen, sowie beim Nachweis gichtischer Erkrankungen wichtig. Die Exposition muß sehr kurz (eine viertel Minute, K. E. $^1/_2$—1 Seknnde), die Röhre möglichst weich sein. Auch Seitenaufnahmen der Zehen sind erforderlich, um etwaige Luxationen oder dergleichen klar zu stellen. In diesem Falle wird der Fuß in Seitenlage fixiert und eine photographische Platte zwischen die Zehen gelegt und durch Bretter oder Holzklötze gestützt. Solche Aufnahmen erfordern eine kurze Expositionszeit und weiche Röhre (W 5 BW 4).

Außer diesen typischen vier Einstellungen, welche für alle in der Praxis vorkommenden Indikationen ausreichen werden, können

unter Umständen zur Beantwortung besonders schwieriger diagnostischer Fragen noch andere Stellungen in Betracht kommen. Beispielsweise kann es von Vorteil sein, das Naviculare in Rückenlage des Patienten bei Spitzfußstellung zu röntgenographieren. Der Zylinder wird dann mit der Lichtachse direkt auf das Kahnbein aufgesetzt. Die Spitzfußstellung wird durch den Kompressionsdruck garantiert.

Es bleibt noch zu erwähnen, daß es erforderlich sein kann, den Fuß in belastetem und unbelastetem Zustande zu untersuchen, und zwar dann, wenn es sich um den Nachweis eines be-

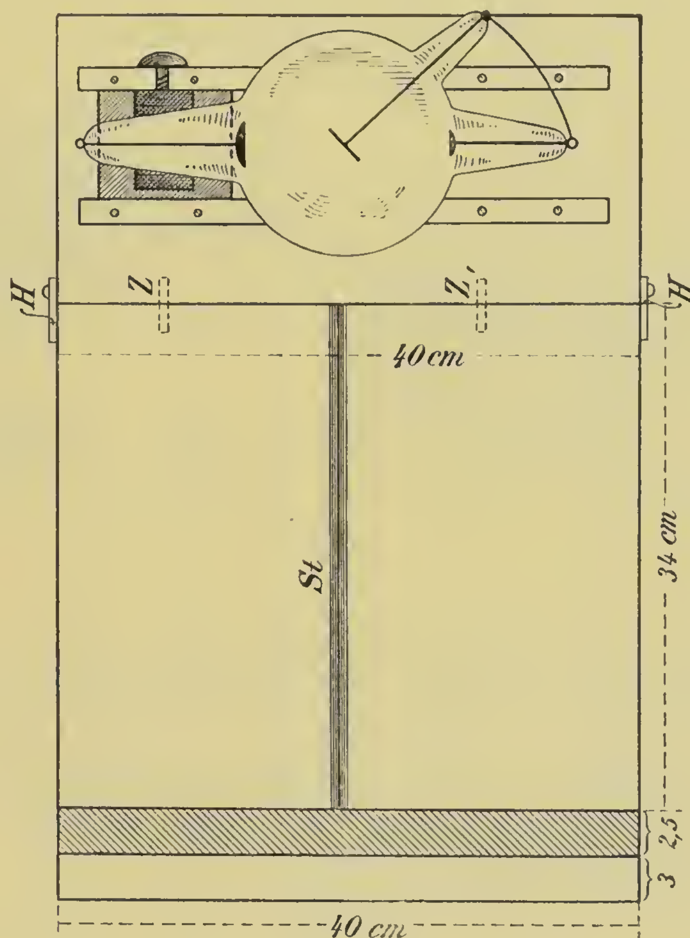


Fig. 168.

Methode Engels, Belastungsaufnahmen

ginnenden Plattfußes oder dgl. handelt. Die Methode, welche von Engels angegeben ist, und welche ich mit dem Autor zu üben Gelegenheit hatte, ist folgende (Fig. 168, 169 und 170).

Auf der Plattform *a* (12 cm × 34 cm × 40 cm) steht der Fuß. Hinter derselben befindet sich eine 3 cm tiefe, 2,5 cm breite Rinne, in welche die Kassette, gestützt durch die 20 cm hohe Rückwand, senkrecht hinein gestellt wird.

Der Fuß steht dicht an der Kassette so, daß die Tuberositas ossis navicularis senkrecht oberhalb des die Platte quer durchschneidenden Striches *St* liegt. In der Verlängerung der in *St* errichteten senkrechten Ebene liegt der Fokus der Antikathode.

Die Röhre ist in einer Klemme befestigt, in der sie in senkrechter Richtung verstellbar ist. Die Klemme selbst ist in wagerechter Richtung, schlittenartig verschiebbar, auf einem Brettchen, befestigt, welches durch zwei Zapfen (Z; Z_1) und zwei Haken (H; H_1) an der Plattform abnehmbar angebracht ist. Der konstante Abstand der Klemme und damit des Spiegels von der Vorderwand der Kassette beträgt 45 cm.

Die Röhre wird so eingestellt, daß der Fokus in die Fortsetzung der Linie *St* und in gleicher Höhe wie die Tub. oss. nav., also etwas über Plattformhöhe, zu liegen kommt.

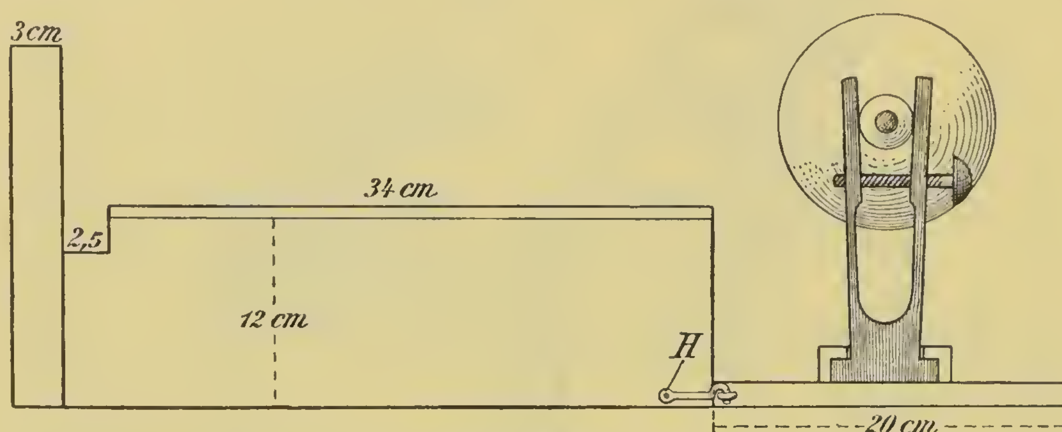


Fig. 169.

Dieser ganze Apparat wird unmittelbar neben einen festen Tisch gestellt, so daß der zu untersuchende Patient sich mit den Händen aufstützen und festhalten kann. Nunmehr wird die erste Aufnahme so gemacht, daß der auf dem Holzklotze *A* ruhende Fuß nicht belastet wird, Patient mit seinem ganzen Gewicht sich vielmehr auf den anderen Fuß stellt.

Der Abstand der Röhre bedingt es, daß eine härtere Qualität erforderlich ist (W 7 BW 6), infolgedessen die Struktur nicht übermäßig scharf ausfallen kann. Es ist dieses im vorliegenden Falle gleichgültig, da es sich weniger darum handelt, Strukturdetails zu erhalten, als vielmehr topographisch die Stellung der einzelnen Fußknochen zu fixieren. Nachdem die erste Aufnahme in der beschriebenen Weise gemacht ist, wird die Platte hinter dem Fuß weggezogen und sofort durch eine neue ersetzt. Man fordert nun den Patienten auf, das ganze Körpergewicht auf den zu untersuchenden Fuß zu verlegen, und macht in dieser Stellung die zweite Aufnahme. Bei einigem guten Willen von seiten des

Kranken wird es gelingen, scharfe Bilder zu erzielen, so daß man sehr wohl feststellen kann, ob eine Veränderung des Fußgewölbes bei der Belastung stattgefunden hat oder nicht. Diese Methode, welche vorwiegend für die Orthopädie von Bedeutung ist, wird

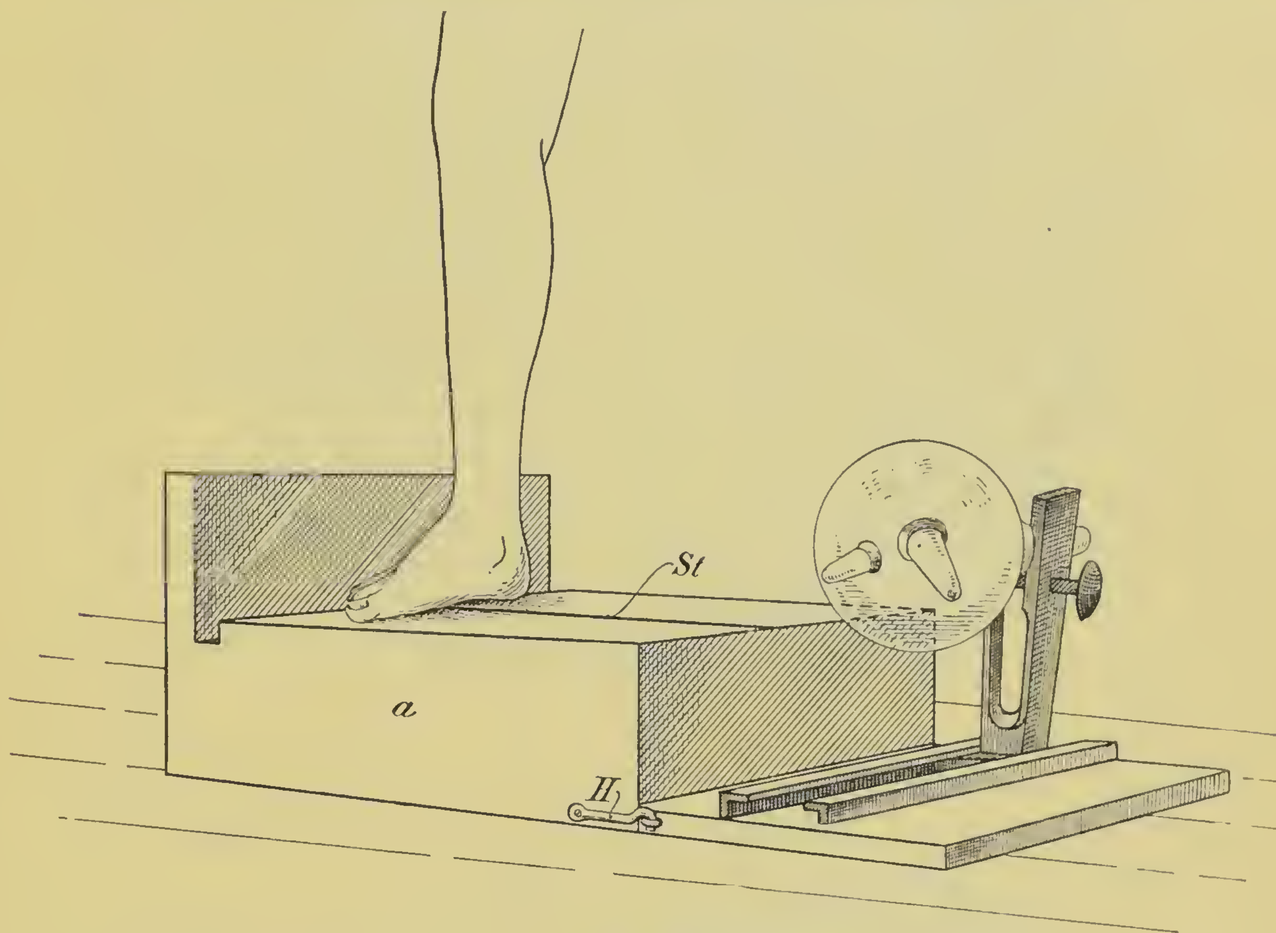


Fig. 170.

sich noch weiter ausgestalten lassen, derart, daß man auch hier zu versuchen hat, eine Blende zwischen Röhre und Fuß einzuschalten. Dieses dürfte besonders wichtig sein, weil man es mit harten Röhren zu tun hat. Allerdings wird eine eingeschaltete Blende auch wieder zur Verkleinerung des Bildes Veranlassung geben.

---

20. Kapitel.

Die Schulter und die obere Extremität.

I. Das Schultergelenk.

Die Schulteruntersuchungen sind deswegen eine der schwereren Aufgaben der Röntgenographie, weil die Ruhelage während der Untersuchung nur mit Mühe herzustellen ist. Vor allen Dingen

kommt die unbequeme Lage auf einem horizontalen Tische, ferner die Atemexkursion des Thorax, die auf den Arm übertragen wird, hindernd in Betracht. Nicht alle Menschen sind imstande, längere Zeit ihren Arm wirklich ruhig auf der Unterlage liegen zu lassen, und bei nur wenigen sind die Verhältnisse so günstig, daß die Atembewegungen sich nicht bis zum Schultergelenk fortpflanzen. Diese letzteren Fälle werden, wenn im übrigen richtig verfahren wird, recht gute Schulterbilder, die anderen dagegen nicht die gleichen Resultate ergeben. Es kommt hinzu, daß es den Patienten häufig sehr schwer fällt, die Schulter flach auf der Unterlage liegen zu lassen. Man bemerkt, daß die Kranken, sobald die Kassette untergeschoben wird, die Schulter etwas in die Höhe ziehen, so daß zwischen Humeruskopf und Platte ein größerer Zwischenraum, als auf der anderen Seite zwischen Humeruskopf und Unterlage, entsteht. Wenn man auch die Schulter durch leichten Druck der Kassette wieder nähern kann, so wird sie doch ganz unwillkürlich wieder emporgezogen. Dieses verhindert ein Zustandekommen tadelloser Bilder, da eine der Hauptbedingungen, das möglichst unmittelbare Anliegen der Extremität an die photographische Platte, nicht erfüllt ist. Es ist empfohlen worden, Schulteraufnahmen im Sitzen zu machen. Ich habe mich nicht davon überzeugen können, daß diese Lage eine günstige ist, vielmehr bin ich der Ansicht, daß die horizontale Rückenlage allen anderen Stellungen bei weitem vorzuziehen ist.

Schulteraufnahmen

Am günstigsten kommen die anatomischen Details des Schultergelenkes zutage, wenn die Platte in der unten zu beschreibenden Weise an der Schulterblattseite angelegt ist. Man erhält, je nach der Röhreneinstellung, ein gutes Bild der Pfanne, der Skapula, des Akromion, sowie des Humeruskopfes und des Schaftes. Hat die Platte an der Vorderseite der Schulter gelegen, so wird das Bild weniger brauchbar, da sich alsdann Teile des Schultergürtels mit dem Kopf decken, wodurch der Überblick über den letzteren und die Pfanne erschwert wird. Zur Darstellung des Tuberculum minus eignet sich dagegen die dorsoventrale Strahlenrichtung. Ich empfehle, die Schulteraufnahmen in annähernd horizontaler Lage, mit der Platte an der Rückseite, zu machen. Es gibt Fälle, in denen man nicht umhin kann, die umgekehrte Einstellung vorzunehmen. Unter Umständen ist es sogar angezeigt, die Platten horizontal auf die Schulter zu legen und von der Achselhöhle aus zu durchleuchten, man erhält so Teile des Gelenkes, welche bei den anderen Methoden nicht sichtbar sind. Diese Fälle gehören indessen zu den Seltenheiten. Das Einbandagieren der Schulter mit einer elastischen Gummibinde, wie wir



Fig. 1.



Fig. 2.

dieses häufig und mit großem Erfolg bei den Extremitätenaufnahmen zu tun pflegen, ist bei der Schulteraufnahme nicht angezeigt, da Schwierigkeiten bestehen, die Einwicklung so vorzunehmen, daß alle Teile des Schultergelenkes gleichmäßig gut auf der Platte liegen. Es bleibt eben nichts anders übrig, als auf gut Glück die Aufnahme, nach Ermahnung des Patienten zur ruhigen Lage, zu versuchen. Als Einstellungspunkt wählt man die Mitte des Pfannenrandes, und zwar eher mehr median als lateral, da bei der Einstellung auf die Mitte des Humeruskopfes Teile des Akromion Pfanne und Kopf durch Überlagerung verdecken. Je weiter nach außen die Einstellung vorgenommen wird, um so weniger gelingt es, das Bild des Kopfes und der Pfanne auseinander zu bringen.

Bei den Schulteraufnahmen kann der Blendentisch oder die Wandarmblende in Anwendung gebracht werden, und zwar wird man auch hier wieder, je nach der Größe des Körperteiles, Platten 18/24 oder bei Kindern 13/18 nehmen. Die Expositionszeit beläuft sich bei Wahl einer weichen Röhre, (W 6 BW 5) auf zwei Minuten, K. E. 6 Sek., bei Kindern auf $^{3}/_{4}$—1 Minute, K. E. 3 Sek. Man erhält Platten, welche eine genügende Übersicht über die Schultergelenkverhältnisse geben. Die Scapula, die Pfanne, das Akromion, die Clavicula, der Kopf, sowie ein Teil des Schaftes erscheinen, wenn die Bilder scharf sind, mit gut durchgearbeiteter Struktur, so daß man alle etwaigen Frakturen, Absprengungen, Knochenherde oder Tumoren genügend zu Gesicht bekommt.

Wesentlich verbessert, sowohl bezüglich der Strukturdarstellung als auch besonders rücksichtlich der topographisch-anatomischen Orientierung, wird die Technik durch die Kompressionsmethode.

Bei Aufnahmen der Schulter handelt es sich vorwiegend um zwei Ziele:

I. *Darstellung des Humeruskopfes sowie seines Verhältnisses zur Gelenkpfanne.*

II. *Darstellung des Schulterblattes des Proc. coracoid., des Akromion und seiner knorpeligen Verbindung mit dem peripheren Ende der Clavicula.*

Es ist absolut zu verlangen, daß die genannten Knochenpartien, je nachdem es klinisch erforderlich ist, völlig frei und nicht überlagert dargestellt werden. Z. B. darf bei Untersuchung des Humeruskopfes die überknorpelte Zirkumferenz des letzteren nirgends durch Teile des Akromion überdeckt sein. Als Musterbild mag Fig. 1 auf Tafel VII gelten. Will man dagegen die Gelenkverbindung zwischen Clavicula und Akromion untersuchen, so darf die letztere nicht ganz oder zum Teil im Schulterblattschatten ver-

schwinden (Tafel VII, Fig. 2). Mittels einer Aufnahme kann man beide Zwecke nicht erreichen, man wird hierzu ***zweier typischer Stellungen*** bedürfen.

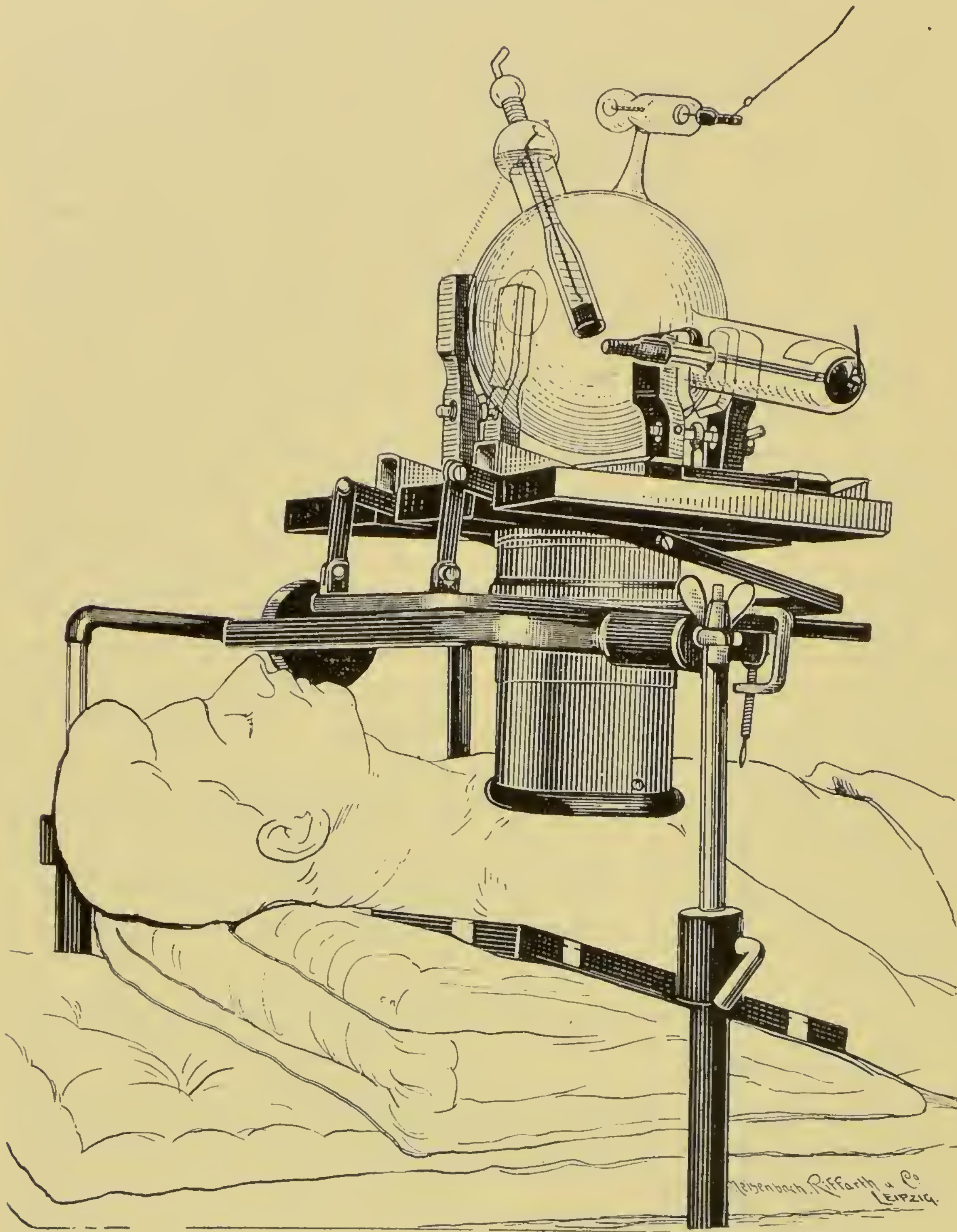


Fig. 171.

I. Stellung: Zur Aufnahme des Kopfes und der Pfanne wird Patient auf ein Keilkissen, das einen Winkel von 45° hat, mit Schultern und Kopf gelagert. Das Keilkissen darf nicht zu steil sein, da sonst der Humeruskopf eine eiförmig verzeichnete Gestalt auf dem Bilde zeigt. Ist das Keilkissen dagegen zu flach, so er-

hält man sehr leicht eine Überlagerung von Teilen des Humeruskopfes durch das Akromion.

Nachdem eine Platte von der Größe 18/24 unter die Schulter geschoben ist, wird der Unterarm in bequemer Weise durch Sandsäcke fixiert. Viele Patienten ziehen es vor, den letzteren leicht flektiert zu halten. Diese Flexionsstellung läßt sich ohne Mühe durch die Sandsäcke erreichen. Es ist indessen zu vermeiden, daß der Kranke die Hand auf das Abdomen legt, was Veranlassung zur Übertragung der Atembewegungen auf die Hand und somit auf die ganze obere Extremität geben würde. Handelt es sich um Verdacht einer Absprengung am Tuberc. maj. oder um den Nachweis der Stiedaschen Einlagerungen in die Bursa, so muß der ganze Arm stark auswärts rotiert werden, da anderenfalls die zu untersuchende Gegend durch den Schatten des Kopfes überdeckt wird. Unter die nicht zur Untersuchung kommende Schulter wird ein Sandsack gelegt, um durch die so bewirkte geringe Schräglagerung des Oberkörpers ein festes Anlagern der anderen Schulter an die Platte zu erzielen. Außerdem kommt es nicht selten vor, daß die Platte infolge des Kompressionsdruckes schräg in der Richtung nach der Mittellinie des Körpers abweicht, ein Fehler, der durch die Hebung der anderen Schulter beseitigt wird. Kompressionsrohr (13 cm) wird nun, nachdem der Blendenrahmen geschlossen worden ist, so über der Schulter eingestellt, daß seine Achse zwischen Humeruskopf und Pfanne hindurchgeht (Fig. 171). Der Rahmen wird etwas nach dem Gesicht des Patienten zu gekippt, so daß die Lichtachse schräg von oben her durch das Schultergelenk geht. Diese Neigung der Lichtachse erhöht die Wirkung des Keilkissen.

Absprengung vom Tuberc. majus. Stieda'sche Einlagerung

In nebenstehender Fig. 172 ist durch den Kreis (*I*) die ***I. typische Stellung*** (Tafel VII, Fig. 1) des Zylinders für Aufnahmen des Humeruskopfes und der Pfanne, durch den Kreis (*II*) die Einstellung für die ***II. typische Stellung*** (Tafel VII, Fig. 2): Zur Aufnahme der Skapula, des Akromio-Claviculargelenkes und des Proc. coracoid. gekennzeichnet. Bei Zylinderstellung (*I*) wird, wie schon erwähnt, unter Lagerung des Oberkörpers auf einem Keilkissen, bei Zylinderstellung (*II*) in völlig flacher Horizontal-

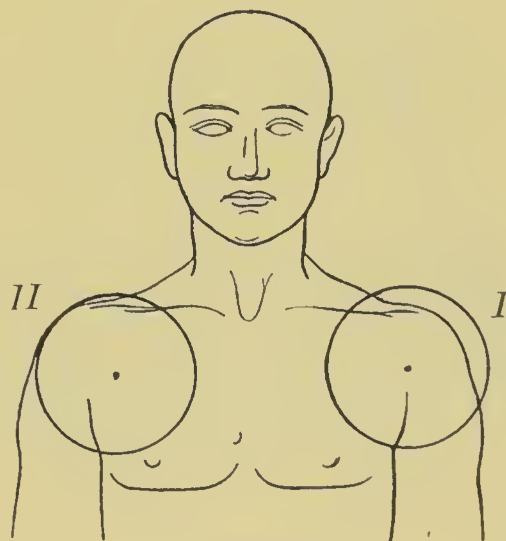


Fig. 172.

lage und ohne die vorbeschriebene Neigung des Blendenrahmens untersucht.

Ein oder mehrere dicke, auf die Schulter gelegte Kissen erlauben eine starke Pression auf den zu untersuchenden Körperteil. Die letztere wird natürlich, je nachdem es sich um schmerzhafte Affektionen handelt, mehr oder weniger stark auszuüben sein. Unter allen Umständen wird man aber bei vorsichtigem Verfahren so weit niederdrücken können, daß das ganze Schultergelenk vollständig fest und unbeweglich auf seiner Unterlage ruht. Die Atembewegungen sind nun nicht mehr imstande, sich den festgelegten Schulterknochen mitzuteilen. Ihr Herauftreten oder vielmehr ihr Abrücken von der Platte ist ebenfalls infolge des starken Gegendruckes ausgeschlossen. Schließlich ist auch eine willkürliche Bewegung zur Unmöglichkeit gemacht, so daß die Aufnahme bei völliger Ruhe vorgenommen, und mit Sicherheit ein gutes Resultat erwartet werden kann. Man komprimiert nicht eher, als bis das mit der Röhre armierte Blendenbrett auf den Zylinder gesetzt worden ist, um nicht unnötig lange den Druck ausüben zu müssen. Das so erzielte Bild wird auch den größten Anforderungen gerecht werden, da Strukturdetails zum Vorschein kommen, wie man sie schöner kaum wünschen kann, Nicht in allen Fällen wird dieses ideale Ziel zu erreichen sein, namentlich dann nicht, wenn es sich um Patienten handelt, die einen stark gewölbten Thorax haben, oder bei denen ein erheblicher Bluterguß das Schultergelenk umgibt; immerhin wird auch hier ein Bild gewonnen werden, welches eine exakte Diagnosenstellung unter allen Umständen ermöglicht. Entzündliche Prozesse, wie kariöse Zerstörungen am Humeruskopf, markieren sich bei dieser Art der Aufnahme ganz besonders schön. Unter Umständen wird es sich empfehlen, statt mit adduziertem, mit abduziertem Arm die Aufnahme zu machen. Es kommen dann andere Teile des Schulterkopfes in die Gegend der Pfanne. Die Lagerung ist ohne weiteres derart auszuführen, daß neben den Untersuchungstisch ein zweiter Tisch gerückt wird, auf welchem der abduzierte Arm ruht resp. mit Sandsäcken festgelegt wird.

Bei der vorbeschriebenen Technik der Schulteraufnahmen ist ein Übelstand vorhanden, welcher sich besonders bemerkbar macht, wenn man Patienten mit stark gewölbtem Thorax zu untersuchen hat. Preßt man nämlich bei Rückenlage des Kranken den Zylinder (13 cm) auf die Schultergegend, so kann man sich davon überzeugen, daß der Hartgummiring des Zylinders wohl auf die Rippen, nicht aber auf den Humeruskopf drückt. Somit ist zwar eine Thoraxbewegung ausgeschlossen, nicht dagegen ein Be-

wegen des Oberarms. Um das letztere nun in vollkommenem Maße auszuschließen, kann man entweder mehrere Kissen auf den Humeruskopf legen, wodurch in den meisten Fällen bereits völlige Ruhigstellung erzielt wird, oder man verfährt in der Fig. 173 abgebildeten Weise.

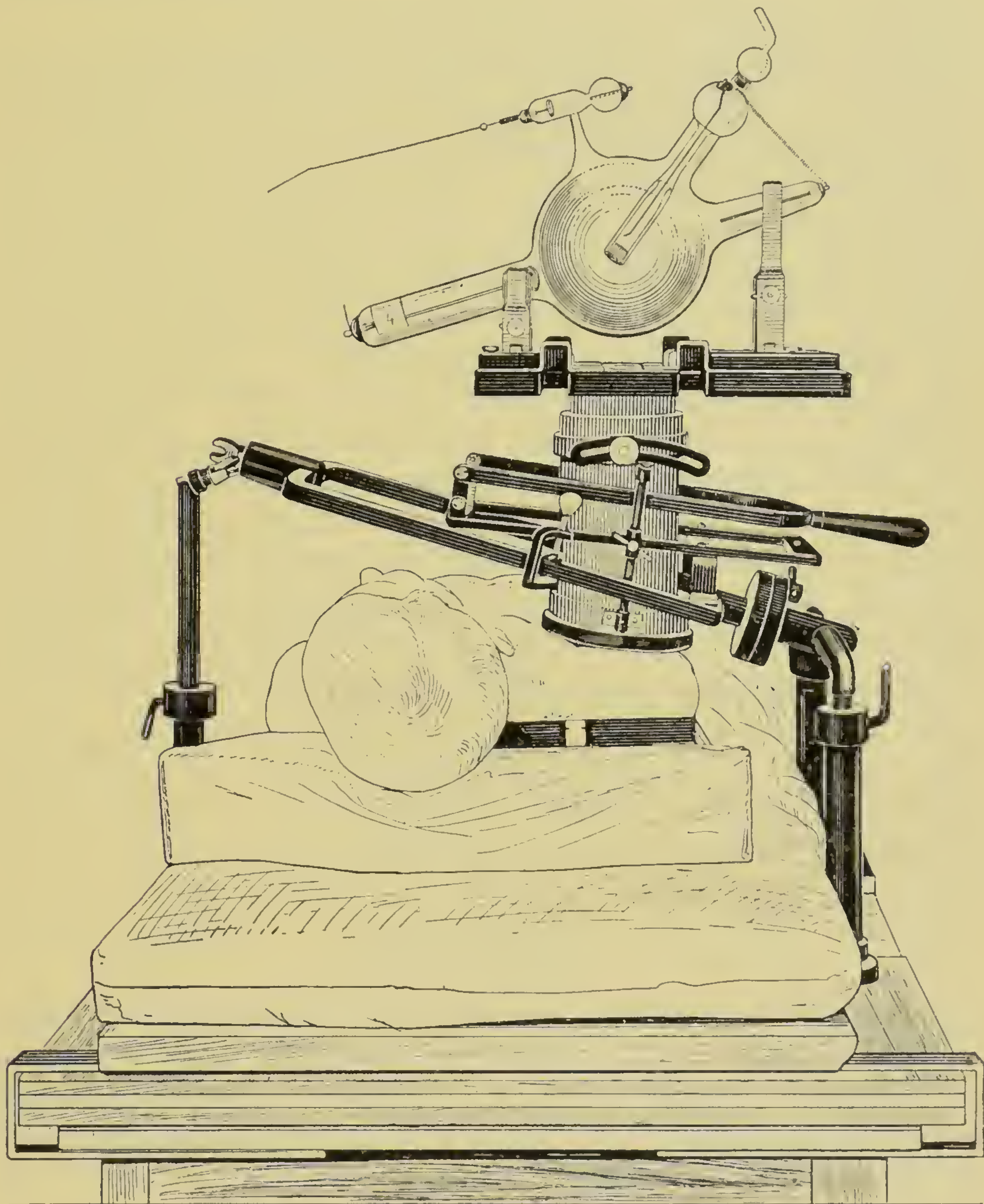


Fig. 173.

Die einzeln stehende Säule der Kompressionsblende wird auf ihren höchsten Punkt gestellt, während die gegenüberstehenden Säulen auf ihren tiefsten Punkten fixiert werden. Der Patient wird mit der Schultergegend auf ein Keilkissen zwischen den Säulen der Kompressionsblende gelagert. Nunmehr wird der Rahmen

hinübergeklappt und durch Überhängen eines Sandsackes (in der Figur nicht abgebildet) fest fixiert. Der unten zu beschreibende Stereoskopzylinder, welcher mit drehbaren Füßen versehen ist, wird so auf den Blendenrahmen aufgesetzt, daß das eine Paar der Füße auf dem Rahmen, das gegenüberliegende sich unter demselben befinden. In dieser Stellung wird er mit Schrauben fest fixiert. Komprimiert man nun die Schultergegend, so kann man sich davon überzeugen, daß der untere Hartgummiring des Zylinders in schräger Richtung die Schultergegend fixiert, so daß mittels untergelegter Wattekissen ein gleichmäßiger Druck auf den Humeruskopf, das Akromiom, sowie die benachbarten Rippen ausgeübt wird. Würde man mit einem feststehenden Zylinder dieses Manöver machen, so wäre die Folge, daß derselbe schräg stände und man also von außen her schräg die Schulter durchstrahlte. Letzteres bedingt fehlerhafte und verzeichnete Schulterbilder. Der Stereoskopzylinder, welcher noch eine Bewegungsmöglichkeit um seine Querachse hat, ermöglicht es, daß wir bei Schrägstellung des unteren Hartgummiringes trotzdem den Zylinder senkrecht über der Schulter einstellen können. Die Durchstrahlung findet also in der günstigsten Richtung senkrecht von oben in das Schultergelenk hinein statt, resp. mit der beschriebenen geringen Neigung der Lichtachse infolge Drehung des Blendenrahmens. Der Patient wird von diesen Vorrichtungen nicht im mindesten belästigt, da er unter dem Statif seinen Kopf nur etwas auf die Seite zu legen braucht, um zu verhindern, daß die Metallteile mit seinem Gesicht in Berührung kommen. Bei dieser Art der Technik ist eine Bewegung der Schulter während der Aufnahme ausgeschlossen.

II. Die Cavicula.

Clavicula

Das periphere Drittel des Schlüsselbeins untersucht man in Rückenlage, die beiden zentralen Drittel am besten in Bauchlage des Patienten auf dem Trochoskop. Das Sternoclaviculargelenk bedarf einer besonderen Darstellungsweise, welche schwierig ist und bei der Abhandlung des Brustbeins besprochen ist.

III. Der Humerus.

Der Humerusschaft wird am zweckmäßigsten röntgenographiert, indem man den Patienten neben dem Untersuchungstisch auf einem niedrigen Bock Platz nehmen läßt, so daß der ausgestreckt ruhende, im Ellenbogengelenk flektierte Arm auf der Tischplatte genau in Schulterhöhe liegt. Man kann jetzt, je nach der vorhandenen Indi-

kation, entweder Übersichts- oder Detailaufnahmen machen. Bei Benutzung des großen Zylinders (19 cm) kommt man mit einer Aufnahme vollkommen aus. Handelt es sich um Frakturen, so wird zunächst durch ein Übersichtsbild die Bruchstelle bestimmt. Feinere Einzelheiten ergibt dann nachher das mittels Blenden aufgenommene Detailbild. Ein solches ist beim Suchen von Sequestern unerläßlich, da es häufig bei muskulösen Armen nicht möglich ist, an den höheren Partien und Übersichtsbildern Struktur zu erkennen. Selbstverständlich ist auch hier die Regel zu beachten, daß bei allen Affektionen des Humerus die Aufnahme in zwei zueinander senkrecht stehenden Ebenen zu erfolgen hat. Durch eine Drehung des Armes oder durch eine Änderung der Lage wird man diese zwei Ebenen ohne Schwierigkeiten herstellen können. Die oberste Partie des Schaftes, dicht unterhalb des Humeruskopfes, ist dagegen im allgemeinen schwer in zwei Ebenen zu untersuchen. Die erste ergibt sich bei adduziertem Arm in Rückenlage, die zweite im Sitzen bei horizontal auf dem Tisch gelagerter Extremität. Jedoch ist bei der letzteren Aufnahme die Anbringung der Platte an diesem obersten Humerusteil schwer, da sie sich nur ein kurzes Stück in die Achselhöhle hineindrücken läßt. Man müßte hier schon zu Films seine Zuflucht nehmen, welche beispielsweise über eine dicke Rolle gelegt werden, die so dem Patienten in die Achselhöhle gepreßt wird. Immerhin ist dieser Ausweg kein befriedigender.

Humerus

IV. Das Ellenbogengelenk.

Zu den praktisch wichtigsten Aufnahmen gehört unstreitig das Ellenbogengelenk. Eine große Zahl von Verletzungen haben wir gerade an diesem exponierten Gelenk zu untersuchen. Besonders bei Kindern sind eine Reihe von Frakturen ein in der Praxis alltägliches Ereignis. Aber auch entzündliche Erkrankungen und Tumoren spielen eine große Rolle, ferner Veränderungen der Stellung der einzelnen Knochen zueinander. Es ist daher unbedingt erforderlich, daß die Ellenbogenaufnahmen so gut ausfallen, daß man über jeden einzelnen Fall des Gelenkes vollkommen Aufschluß erhält. Es muß ein gutes Bild, sei es nun in Seiten- oder in Dorsalsicht gemacht, das Capitulum radii in seiner ganzen Zirkumferenz deutlich und nicht von Teilen der Ulna überlagert zeigen. Der Proc. coronoideus soll genau erkennbar sein, desgleichen die Trochlea, die Eminentia capitata, der Condylus int. und ext., das Olecranon, die Tuberositas radii, die Fossa supratrochlearis und anderes mehr. Selbstverständlich muß das Bild unter allen Umständen scharfe Konturen haben.

Ellenbogengelenk

Es kommen für die erschöpfende Darstellung des Ellenbogengelenkes hauptsächlich *drei typische Stellungen* in Betracht, wobei von vornherein zu erwähnen ist, daß auch andere als die zu beschreibenden nützlich für die Diagnose sein können[1]). Denn unter Umständen können Knochenbrüche selbst bei zwei aufeinander senkrecht stehenden Durchstrahlungsrichtungen übersehen werden.

I. Stellung: In Flexion des Unterarmes bei bis zur Schulterhöhe erhobenem Oberarm.

II. Stellung: In vollständiger Supination bei bis zur Schulterhöhe erhobenem und gestrecktem Arm.

III. Stellung: Aufnahme bei flektiertem Unterarm wie in Stellung (I) und schräger Strahlenrichtung seitlich von außen.

Diese drei Positionen geben uns ein für fast alle Fälle ausreichendes Bild über die Verhältnisse des Ellenbogengelenkes.

Die Aufnahme in *Stellung I* wird in der Weise vorgenommen, daß das Ellenbogengelenk bei rechtwinklig flektiertem Unterarm und pronierter Hand auf die Kassette aufgelegt wird, so daß der Condylus int. auf der Mitte derselben liegt. Eine Einwicklung mittels elastischer Binde fixiert Ober- und Unterarm in genügender Weise. Patient nimmt jetzt auf einem niedrigen, neben dem Untersuchungstisch stehenden Bock Platz und legt den auf die Kassette bandagierten Arm auf die Tischplatte fest auf. Der Bock muß so niedrig, oder die Tischplatte so hoch sein, daß der Oberarm genau in Schulterhöhe liegt, und die Tischkante fest in die Achselhöhle hineinreicht. Ein Sandsack fixiert den Humerus oberhalb der Kassette. Mittels eines zweiten Sackes wird die auf dem Tisch liegende Hand beschwert. Als Einstellungspunkt dient der Condylus ext. Auch hier wird die kreisförmige Blende und ihr Abstand entsprechend der Plattengröße bemessen. Die Röhre soll möglichst weich sein (W 6 BW 5). Namentlich bei Kindern, bei denen viele Partien des Gelenkes knorpelig sind, und der Knochen noch sehr transparent ist, muß die Röhre von hervorragender Weichheit sein (W 5 BW 4). Die Expositionszeit beläuft sich, je nach der Dicke des Arms oder dem Alter des Patienten, auf $^1/_2$—2 Minuten, K. E. 2—3 Sekunden. Ein solches Bild wird die Verhältnisse des Ellenbogens in außerordentlicher Klarheit zeigen, es sei denn, daß der Kranke eine Bewegung macht und dadurch Unschärfe entsteht.

---

[1]) Jedlicka, Kratzenstein und Scheffer, die topographische Anatomie der oberen Extremitäten, Lucas Gräfe & Sillem, Hamburg 1900.

Die Aufnahme in *Stellung II* findet so statt, daß der Arm gestreckt in Supinationsstellung gebracht und auf der Kassette aufbandagiert wird. Das Olekranon soll auf der Mitte der letzteren liegen. Bei nicht verletztem Ellenbogengelenk ist diese Stellung unschwer zu erreichen, etwas anderes ist es dagegen, wenn es sich um einen entzündlichen Prozeß oder um eine Verletzung oder Versteifung im Gelenk handelt. In diesem Falle wird die zweite Stellung dem Patienten Schmerzen bereiten, welche häufig zum Verzicht auf die vollständige Streckung des Unterarms führen. In solchen Fällen läßt sich die Aufnahme bisweilen bei liegendem Patienten ausführen oder es wird die dritte typische Stellung gewählt.

Stellung III: Der Arm wird wie in Stellung I gelagert und die Röhre seitlich nach außen verschoben, so daß die Lichtachse auf das Olekranon gerichtet ist.

Es ist namentlich bei Kindern ratsam, stets zuerst die Aufnahme bei Seitenlage des Armes, welche schmerzlos ist, zu machen, wodurch man das Vertrauen der kleinen Patienten gewinnt und nicht mit Unruhe zu kämpfen hat. Macht man dagegen zuerst die schmerzhaften Aufnahmen in Supination, so werden die Kinder für die zweite Untersuchung schwer zu haben sein. Läßt sich aus den genannten Gründen der Arm bei Supinationsstellung nicht völlig strecken, so muß man, wenn man auf diese Aufnahme nicht ganz verzichten will, was zugunsten von Stellung III anzuraten ist, mit einer unvollkommenen Streckung vorlieb nehmen. Hierdurch wird das Bild in gewissem Sinne beeinträchtigt, da die Unterarmknochen der Platte nicht fest aufliegen. Man erhält jedoch auch so meist einen genügenden Einblick in die Gelenkverhältnisse, um zur Diagnose zu kommen.

Ellenbogen-Frakturen bei Kindern

Die Aufnahme in der ersten und zweiten resp. dritten Stellung ist unerläßlich, da es leicht möglich ist, bei den Ellenbogenuntersuchungen Knochensprünge, selbst ganze Frakturen, zu übersehen. So ist beispielsweise der Bruch oberhalb der Condylen des Humerus, welcher bei Kindern oft vorkommt, in Stellung I manchmal absolut nicht nachzuweisen. Erst Stellung II oder III zeigt uns durch eine geringe Abweichung der beiden Bruchenden, daß eine Fraktur vorliegt. Das gleiche gilt von der nicht so seltenen Fraktur des Radiusköpfchens. Auch hier müssen wir, um eine Diagnose stellen zu können, beide Stellungen betrachten. Als weiteres Beispiel möchte ich noch die isolierte Luxation des Radiusköpfchens anführen, welche in Seitenlage mit Vorliebe übersehen wird.

Ist eine vollständige Streckung des Unterarms, wie schon erwähnt, nicht möglich, so bleibt nichts anderes übrig, als denselben in Supinationsstellung und Außenrotation bei leichter Beugung auf einen Sandsack zu lagern und festzulegen.

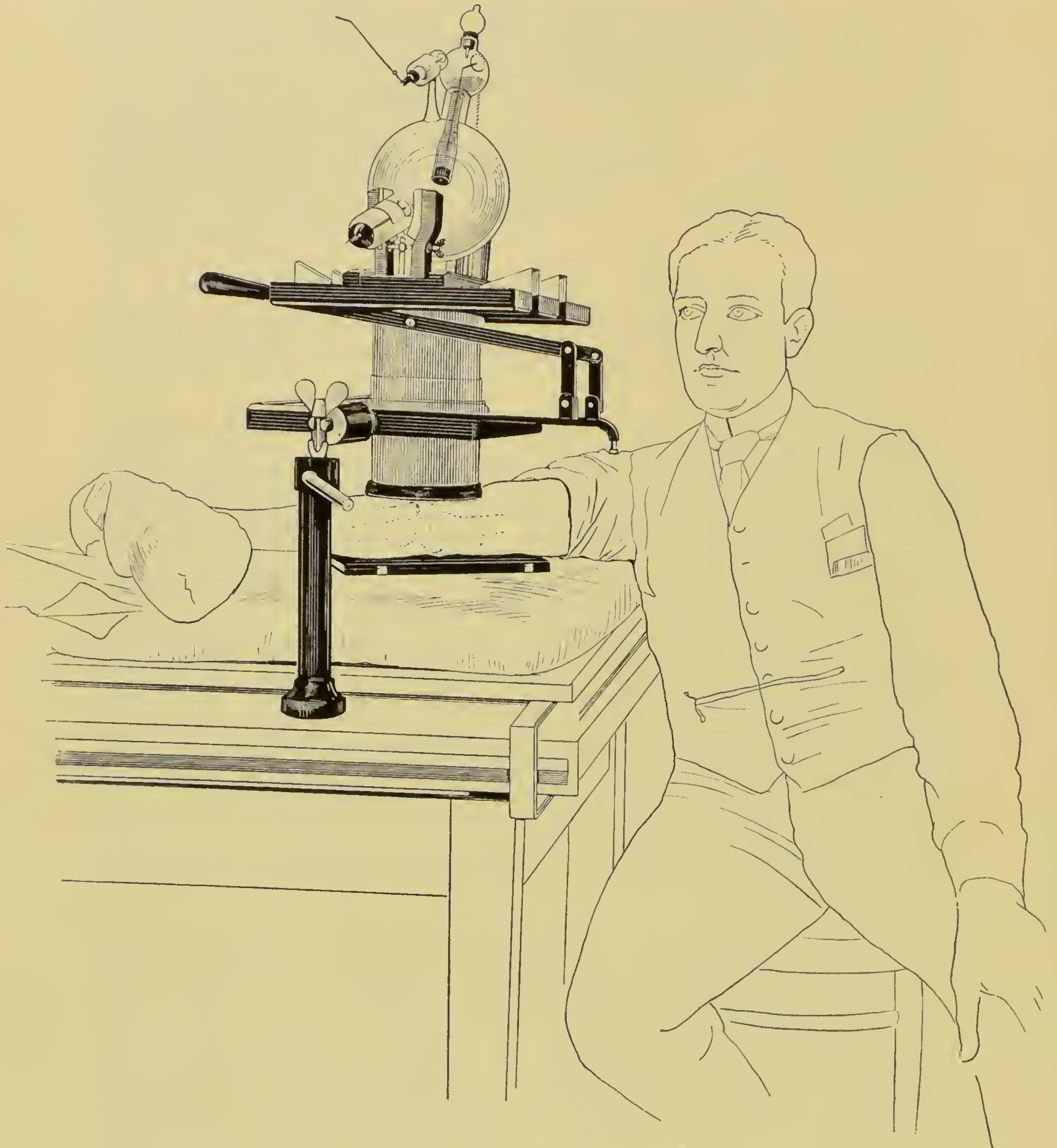


Fig. 174.

Wesentlich günstiger gestalten sich auch hier wieder die Verhältnisse, wenn wir nach der Kompressionsblendenmethode verfahren.

Stellung I mit auf den Condylus extern. gerichteter Lichtachse, zeigt das Olekranon, den anliegenden Condylus, sowie den Radius, welch letzterer indessen zum Teil von der Ulna überdeckt ist.



Stellung II (Fig. 174) dagegen zeigt den Radius vollständig frei, so daß man die Gelenkfläche des Capitulum usw. übersichtlich vor sich hat. Namentlich bei den Frakturen am Radiuskopf ist die letzte Stellung unbedingt erforderlich, da bei der seitlichen Aufnahme unter Umständen sehr leicht eine Verletzung übersehen werden kann. Die Lichtachse verläuft bei dieser Stellung genau

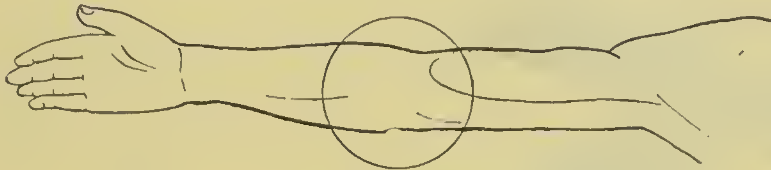


Fig. 175.

durch die Mitte des Gelenkes (Fig. 175). Es ist indessen nicht zu bestreiten, daß die Supinationsstellung dem Patienten bei Ellbogengelenksverletzungen große Schmerzen bereitet und häufig überhaupt nicht eingenommen werden kann. Um nun nicht auf die antero-posteriore Einstellung verzichten zu müssen, lagert man den Patienten horizontal, wodurch man fast stets zum Ziel kommt, oder benutzt:

Stellung III. Der Arm wird, wie Fig. 176 zeigt, leicht flektiert auf die Kassette gelegt, sodann der Stereoskopzylinder (siehe unten) nach genauer Einstellung so weit herabgedrückt, wie es der Patient ohne Schmerzen aushalten kann. Selbsverständlich wird ein mit Watte prall ausgefüttertes Kissen zwischen den Kompressionsring und den Körperteil gelegt. Nachdem der Ellbogen in der vorbeschriebenen Weise fixiert ist, wird der drehbare Zylinder in vollständige Schrägstellung gebracht und festgestellt, sodann das die Röhre tragende Brett aufgesetzt und exponiert. Mit dieser schrägen Aufnahme wird man in vielen Fällen vollständig auskommen, da die einzelnen Knochen des Ellenbogengelenkes gut voneinander isoliert sind. (Tafel VIII.)

Ist man nicht im Besitz des drehbaren Stereoskopzylinders, so kann dieselbe Aufnahme auch mit Zylinder (13 cm) gemacht werden. In letzterem Falle erreicht man die Schrägstellung durch Drehen des den Zylinder tragenden Rahmens.

Für stereoskopische Untersuchungen des Ellenbogengelenkes in Seitenansicht empfehlen sich zwei Platten, welche in Stellung I und III gemacht sind. (Vgl. das Kapitel Stereoskopie.) Stereoskopie des Ellenbogengelenkes

Bei kleinen Kindern ist selbstverständlich die Aufnahme technisch sehr viel schwieriger, da sie oft überhaupt nicht in der Lage sein werden, ihren Arm auch nur für einen Augenblick still zu

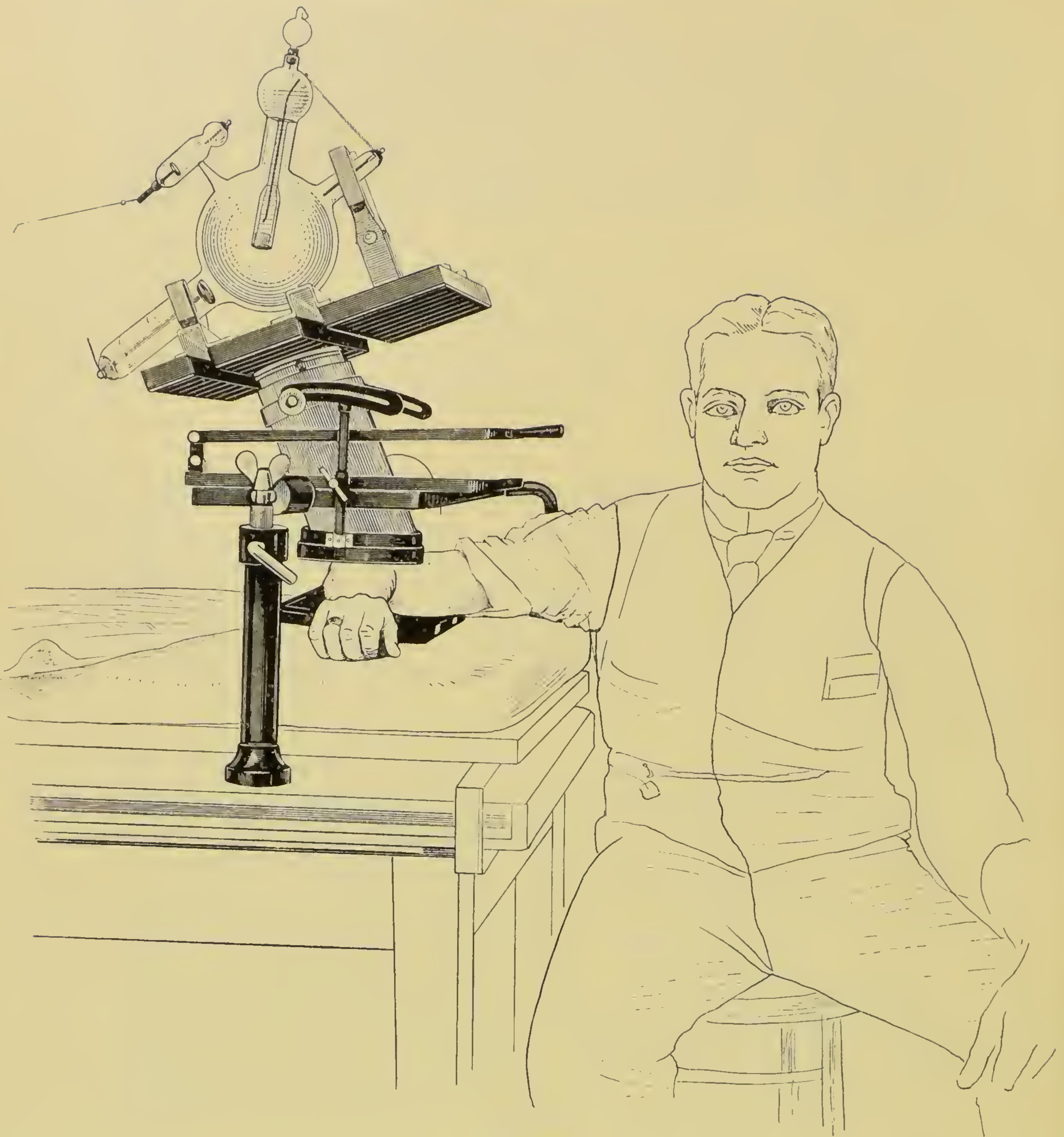


Fig. 176.

halten, besonders dann nicht, wenn sie infolge von Schmerzen unruhig und ängstlich geworden sind. In solchen Fällen leistet die Momentaufnahme oder die Aufnahme mit abgekürzter Expositionszeit $^1/_2$—1 Sek. das beste.

V. Der Unterarm.

Die Untersuchungen des Unterarms werden in der gleichen Weise und nach denselben Prinzipien vorgenommen, wie die des Oberarms. Man hat hier günstige Verhältnisse, da die Knochen

der Platte sehr nahe zu bringen, und die Weichteile am Unterarm meist von mäßiger Dicke sind. Vorwiegend werden es auch hier wieder Frakturen sein, namentlich am unteren Ende des Radius und der Ulna, welche das Röntgenverfahren indizieren. Diese Brüche sind unter Umständen sehr schwer zu erkennen, so daß sie trotz wohlgelungener Röntgenbilder übersehen werden. Wenn das untere Bruchfragment des Radius in der seitlichen Richtung nicht abgewichen ist, so kann der Bruchspalt dem Beschauer der Platten entgehen. Man wird in solchen Fällen eventuell die meist vorhandene Absprengung des Proc. styloideus der Ulma bemerken und sich darüber wundern, daß diese Fraktur, welche sonst fast immer in Verbindung mit einer Querfraktur des Radius aufzutreten pflegt, im vorliegenden Falle isoliert vorhanden ist. Wird indessen der Unterarm auf die Ulnakante gestellt und in Seitenansicht röntgenographiert, so erkennt man den Irrtum bald, denn in dieser Richtung läßt sich meist eine Abweichung des unteren Bruchfragments nachweisen. Der Nachweis der Radiusfraktur, welche bei Erwachsenen oft Sprünge in das Gelenk sendet, gelingt nur in extremer Pronations-Stellung (Radius auf der Platte) mit distaler Röhreneinstellung. Grashey empfiehlt in negativen oder zweifelhaften Fraktur-Fällen zur Zeit der Kallusbildung Kontrollaufnahmen zu machen. Ganz besonders wichtig ist die Aufnahme in beiden Ebenen bei Kindern. Hier kommt bei der Stellung der Diagnose als erschwerendes Moment die sehr bedeutend ausgeprägte Epiphysenlinie in Betracht. Frakturen, welche in dieser verlaufen, sind in Volarsicht häufig gar nicht zu konstatieren, erst die Seitenansicht schafft Aufklärung. Wie bei den Frakturen, so ist selbstverständlich auch bei den übrigen Affektionen der Unterarmknochen, seien es nun osteomyelitische, syphilitische oder tuberkulöse Prozesse, die Aufnahme in zwei Ebenen unbedingt erforderlich. Bei Benutzung des Kompressionsblendenverfahrens bedient man sich zweckmäßig der Kastenblende. Die Einstellung braucht hier nicht wiederholt zu werden, da sie sich mit den an anderer Stelle beschriebenen Angaben deckt.

VI. Die Hände.

Die Handuntersuchungen, welche die leichtesten in der ganzen Röntgentechnik sind, können mit wenigen Worten erledigt werden. Vor allen Dingen muß man darauf achten, daß exakte Strukturbilder erzielt werden, denn nicht selten werden Frakturen, namentlich der Metakarpalknochen, übersehen. Man erkennt nur bei äußerst sorgfältiger Betrachtung einen minimalen, sehr feinen Bruchspalt,

während die Knochenfragmente sich nicht im mindesten gegeneinander verschoben haben. Eine solche feine Bruchlinie kann unter Umständen nicht bemerkt werden, und wenn Patient dann nach einigen Wochen wieder zur Beobachtung des Arztes kommt, stellt sich heraus, daß sich an dem Mittelhandknochen, welchen man für völlig intakt gehalten hatte, inzwischen ein kleiner Kallus entwickelt hat. Vor solchen Irrtümern schützt nur die genaueste Betrachtung des Negativs, da eine Aufnahme in Seitenansicht bei dem Mittelhandknochen nicht möglich ist. Bisweilen wird ein Röntgenogramm in Schräg- oder Dorsalansicht bessere Resultate für die Diagnose ergeben, als in Volaransicht, so daß ich empfehlen möchte, in zweifelhaften Fällen die Hand stets in beiden Lagen zu untersuchen. Zur Erkennung etwaiger Handwurzelknochenverletzungen ist es unerläßlich, Volar- und Dorsalseite auf die Platte zu bringen, da gerade bei diesen kleinen Knochen die Diagnose, z. B. Fraktur des Os hamatum, bisweilen schwierig sein kann. Die Darstellung der Gelenkspalten des Carpus findet am besten mittels Dorsalaufnahme statt. Handelt es sich um Verletzungen oder Erkrankungen der Finger, so stehen einer Aufnahme in Seitenansicht keine Schwierigkeiten entgegen, so daß man hier wohl selten etwas übersehen wird.

Handwurzelknochendarstellung

Die Technik der Handuntersuchung ist verhältnismäßig einfach. Man lege die Hand mit leicht gespreitzten Fingern auf die Kassette und wickele sie mit einer Gummibinde von den Fingern beginnend bis zum Handgelenk fest auf dieselbe. Bestehen Schwellungen oder verhindern Schmerzen bei Frakturen das Aufbandagieren in völlig flacher Stellung, so verzichtet man auf die Volaransicht und legt die Hände von vornherein in Dorsalstellung. Man bekommt alsdann die Metakarpen näher an die Platte heran und erhält einwandsfreie Bilder. Die Röhre muß so eingestellt werden, daß das vom Fokus gefällte Lot über der Mitte des dritten Mittelhandknochens liegt. Ein Abweichen von dieser Einstellung bedingt Verschiebung der Metakarpen, sowie Projektion derselben übereinander. Die Röhrenqualität ist weich zu nehmen, (W 5—6 BW 4—5). Die Exposition beträgt je nach der Röhre und der Dicke der Hand zehn Sekunden bis eine halbe Minute. Man kann mit einer guten Röhre von der Hand sehr schöne Momentaufnahmen machen. $^1/_4$—$^1/_2$ Sekunde genügt schon vollständig, um ein scharfes Strukturbild zu bewerkstelligen. Namentlich bei Kindern ist die Exposition so kurz wie möglich zu bemessen. Es wird bei der Hand sehr oft der Fehler der Überexposition gemacht, wodurch dann die feinen Knochenzeichnungen, welche gerade hier so hervorragend schön zutage treten,

verloren gehen. Ein ideales Handbild soll neben schärfster Strukturzeichnung sämtlicher knöchernen Teile, inklusive des Radiokarpalgelenkes auch noch deutlich Weichteile zeigen. So muß beispielsweise das Unterhautzellgewebe von den Muskelzügen zu differenzieren sein, ferner sollen die Nägel sich abheben. Vielfach sieht man Hand- und Unterarmaufnahmen, bei welchen die Finger und auch die oberen zwei Drittel der Metakarpalknochen, scharfe Struktur zeigen, bei denen indessen die Handwurzelknochen, sowie das Handgelenk infolge Unterexposition keine Knochenzeichnung mehr aufweisen. Solche Bilder sind fehlerhaft gemacht. Die Röhre ist zu weich gewesen, um innerhalb der Expositionszeit die dickeren Knochenpartien der Hand genügend zu durchdringen, so daß infolgedessen nur die dünneren Teile, wie die Finger, deutlich geworden sind. Ferner sieht man oft Bilder, welche sehr schöne Knochenzeichnungen aufweisen, bei welchen indessen von Weichteilen der Hand absolut nichts mehr zu entdecken ist. Sie sind zu lange exponiert, so daß sich die Weichteile durch Überexposition nicht mehr markieren. Bei genau ausgemessener Expositionszeit und guter Röhre wird das Bild weder in der einen noch in der anderen Richtung Fehler aufweisen. Das Sichtbarwerden der Weichteile bei guten Strukturbildern läßt sich häufig durch photographische Kunst fördern. Ein Handbild, welches vollkommene Struktur und gleichzeitig alle Weichteile zeigt, ist eher unter- als überexponiert. Die Verstärkung einer solchen Platte bringt dann durch Hervorheben der Knochenstrukturpartien und durch besseres Sichtbarwerden der Weichteile, sowie durch allgemeine tiefere Schwärzung der übrigen belichteten Teile der Platte den Eindruck hervor, welchen wir von einem vollkommen guten Bild verlangen.



Fig. 177.

Die Anwendung der Kompressionsblende bei der Hand ist für den Untersucher außerordentlich bequem, da durch die Festlagerung das Aufbandagieren überflüssig wird und man sich um die richtige Einstellung nicht zu bekümmern braucht. Auch die Kastenblende gibt gute Resultate und kann daher empfohlen werden (Fig. 177). Der Nutzen der Kompressionsblende liegt bei den Handaufnahmen weniger in der Blendenwirkung, als in der leichten Einstellung und sicheren Festlagerung. Wenn man eine genügend weiche Röhre nimmt, wird man scharfe Strukturbilder auch ohne Blende erzielen.

21. Kapitel.

Das uropoëtische System.

I. Nieren, Nierenbecken (Pyelographie), Harnleiter und Blase.

Die Untersuchungen der Nieren, des Nierenbeckens, des Harnleiters und der Blase wurden bisher ausschließlich für die Steindiagnose verwertet. Erst nach Vervollkommnung der Technik gelang es, diese Organe als solche exakt darzustellen.

Man hat zwei Arten der Aufnahmetechnik zu unterscheiden: Die *direkte,* mittels welcher das Organ als solches sichtbar gemacht wird, und die *indirekte,* welche die Darstellung durch eingeführte Lösungen oder Gase ermöglicht. Die direkte Untersuchung kommt nur für die Nieren in Betracht; mittels der indirekten Methode werden das Nierenbecken, der Harnleiter und die Blase untersucht.

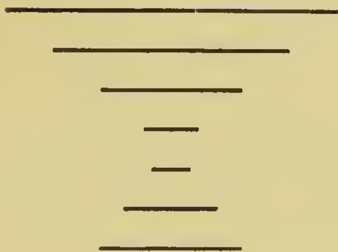


Fig. 178.



Fig. 179.

Luffapelotte nach Straeter

Die Verbesserung der Technik der direkten Untersuchung beruht in erster Linie auf der Ausgestaltung des Kompressionsblendenverfahrens, sodann auf der Zuhilfenahme von Luffapelotten nach Straeter. Die Luffapelotte, welche einen Vorläufer hatte in den Gummiballons, die zuerst von Caldwell und Roberts vorgeschlagen wurden, besteht aus einem kugelartig zusammengerollten und mit Leinwand überzogenen Stück Luffa, welches eine solche Größe haben muß, daß es nicht in den Zylinder der Kompressionsblende hineinrutschen kann, sondern nur von dem unteren Gummirand desselben umfaßt und festgehalten wird.

Die Herstellung dieser Pelotte beschreibt Haenisch folgendermaßen:

„Der Luffaschwamm ist in großen, flachen Stücken in jeder Drogerie erhältlich, am besten eignen sich die etwas stärkeren, locker gefügten Partien. Durch eine Röntgenaufnahme überzeugt man sich, daß keine störenden, schattengebenden Partikel in den zur Verwendung kommenden Stücken enthalten sind, resp. entfernt solche. Dann schneidet man sich runde Scheiben von verschiedener Größe und legt diese, wie es in umstehender Skizze (Fig. 178) veranschaulicht ist, übereinander. Die Zahl der Scheiben hängt von der Stärke des Materials ab. Die unterste Scheibe muß so groß sein, daß sie, ohne hineinzurutschen, in die Apertur des Kompressionszylinders paßt; die oberste wird so groß geschnitten, daß ihre Zircumferenz sich beim Zusammenpressen des Ganzen zu einer Halbkugel dem Umfang der untersten Scheibe nähern läßt. Das Ganze wird durch ein übergenähtes Stück Leinwand zusammengehalten (siehe Fig. 179). Für die verschiedenen Zylinderweiten muß man natürlich je eine passende Pelotte anfertigen."

Man kann nach sorgfältiger Darmentleerung diese Pelotten entweder nach Haenisch mit den Händen unter leichter Drehung oder direkt mit dem Zylinder eindrücken. Der Vorteil, welcher hierdurch erreicht wird, besteht darin, daß in noch ausgiebigerem Maße als allein mit dem Zylinder, die Därme und Darmgase fortgedrückt werden. Nach Straeter tritt ferner eine Anämie des zu durchstrahlenden Gewebes ein, wodurch eine bessere Durchdringung mit kontrastreichen Strahlen ermöglicht wird.

Die Aufnahme der Nieren erfolgt in der gleichen Weise, wie dieses bei den Nierensteinen näher geschildert und abgebildet ist. Es kommt lediglich der kleine Zylinder in Betracht, da er eine exaktere Abblendung als der große ermöglicht. Bei der Einstellung mit schräger Lichtachse unter den Rippenbogen hindurch, erscheint die Niere durch perspektivische Verzeichnung verlängert richtet man dagegen den Zylinder senkrecht und schiebt ihn, nachdem man eingedrückt hat, etwas kopfwärts, so daß er mit seinem Seitenrand den Rippenbogen leicht in die Höhe hebt, so erhält man fast in allen Fällen ein gutes Bild der Niere in annähernd natürlicher Größe. Linksseitig überblickt man häufig die ganze Niere, während rechtsseitig der obere Pol durch Überlagerung durch die Leber nicht deutlich wird. Der mediane Rand der Niere liegt ungefähr am oder über dem lateralen Rande des stets deutlich sichtbaren Psoas. Der untere Pol der Niere befindet sich in der Höhe des dritten Lendenwirbels (Tafel IX). Das Nierenbecken ist in vielen Fällen angedeutet zu erkennen, außerdem sieht man im ganzen Organ häufig kompakte Partien, welche der Rindensubstanz der Niere angehören. Bei sehr fettreichen Personen erscheinen die Nieren oft ungewöhnlich deutlich, was durch die bessere Durchlässigkeit der die Niere umgebenden großen Fettkapsel bedingt ist.

Nierenaufnahmen

Die Indikationen, welche zur ***direkten*** Nierenaufnahme Veranlassung geben, sind in erster Linie in der Untersuchung auf Steine, worüber später die Rede sein wird, zu erblicken. Man kann indessen auch eine Reihe anderer Affektionen mittels des Röntgenverfahrens gut zur Darstellung bringen. So erhält man Aufschluß darüber, ob die Nieren symmetrisch gelegen sind oder nicht; ob eine Wanderniere vorliegt. Das Fehlen einer Niere, die Hufeisenniere, ferner die Feststellung der Größe des Organs, unter Umständen auch die Erkennung von Nierengeschwülsten, sind der Untersuchung zugängig. Ebenso, wie man Konkremente nachweisen kann, kann man auch verkalkte, tuberkulöse Herde auf die Platte bringen. Sie unterscheiden sich von den Steinen durch ihre unschärferen Konturen und ihre größere Durchlässigkeit. Verwechselungen sind leicht möglich. Nicht verkalkte, tuberkulöse Nieren lassen sich indessen nicht darstellen.

Darstellbare pathologische Veränderungen

Die ***indirekten Methoden*** dienen zur Untersuchung der Nierenbecken, der Harnleiter und der Blase. Als erste haben Voelcker und Lichtenberg das Nierenbecken und den Harnleiter durch Einführung von Kollargollösungen sichtbar gemacht. Die Indikationen für diese Untersuchungen bestehen im Nachweis der Nierenbeckenerweiterung, der Hydro- und Pyonephrose, der Nierenbeckenlageveränderung, der Erweiterung oder der Abknickung des Harnleiters in seinem Verlauf zwischen Nierenbecken und Blase. Die Technik (Pyelographie), welche sich im übrigen noch wenig eingebürgert hat, besteht in der Injektion von 50—60 ccm, 2—5 % warmer Kollargollösung, welche mittels Harnleiterkatheter eingespritzt wird. Da das Verfahren schmerzhaft ist, so empfehlen die Autoren vorherige Morphiuminjektion und nach beendigter Untersuchung Ausspülung mit 2 % Borsäurelösung. Über die Aufnahmetechnik ist wenig zu bemerken, da man genau so verfährt, wie dieses bei der Untersuchung auf Nieren-, Becken- und Harnleitersteine auseinandergesetzt ist. Der Luffapelotte braucht man sich nicht unter allen Umständen zu bedienen. Voelker und Lichtenberg bevorzugen das Momentverfahren, welches erlaubt, während der Exposition mit der Kollargolinjektion unter schwachem Druck fortzufahren und so ein Zurücklaufen der Lösung aus dem Nierenbecken zu vermeiden.

Nierenbecken, Harnleiter und Blase

Pyelographie (Voelker, Lichtenberg)

Die Untersuchung der Blase, welche ebenfalls auf indirektem Wege stattfindet, hat den Zweck, ihre Form und Größe zu bestimmen, ferner Steine und Divertikel nachzuweisen; in günstigen Fällen wird es auch gelingen, Blasengeschwülste auf die Platte zu bringen.

Die älteste Methode der Blasenuntersuchungen wurde zuerst




BRITISH MEDICAL
Library
ASSOCIATION

von Wulff und mir angegeben. 400 ccm einer 10% Wismutemulsion werden mittels Katheters in die Blase eingeführt und hierauf in der üblichen Weise die Aufnahme gemacht. Wenn wir auch keine schlechten Folgen bei den von uns vorgenommenen Untersuchungen gesehen haben, so ist der Einwand berechtigt, daß Wismutniederschläge in der Blase besonders in Divertikeln zurückbleiben und so zur späteren Konkrementbildung führen können. Methode Wulff-Albers-Schönberg

Für die Darstellung von Blasengeschwülsten eignet sich die Wismutlösung indessen am besten, da sich das Wismut in die Falten der Geschwulst hineinsetzt und auf diese Weise den Tumor sehr schön markiert. Zu empfehlen ist die Methode von Voelcker und Lichtenberg, die die Blase mit Kollargollösung in der gleichen Weise wie den Harnleiter und das Nierenbecken auffüllen. Blasengeschwülste

Die Autoren lassen eine zweiprozentige Lösung, die nach meinen Erfahrungen etwas zu schwach ist, in einer Menge von 120—150 ccm angewärmt, einlaufen. Das Verfahren ist durchaus schmerzlos. Übrigens markiert sich auch die mit Urin gefüllte Blase auf guten Bildern fast stets.

Ferner ist eine Methode von Cowl, Witteck und Eppinger empfohlen worden, welche darin besteht, atmosphärische Luft in die Blase zu bringen. Es ist indessen bereits ein Todesfall durch Luft-Embolie hierbei vorgekommen (Levien), so daß man mit Recht von der Luft-Insufflation abgesehen hat. — Methode Cowl, Wittek, Eppinger

Mit der Einführung der Sauerstoff-Einblasungen in die Gelenke durch Holzknecht, Hoffa, Wollenberg und andere, lag es nahe, auch die Blase mit Sauerstoff aufzufüllen, da die Gefahr einer Embolie jedenfalls eine geringere ist, als bei der Aufblasung mit Luft. Burkhard und Polano haben diese Untersuchungen zuerst empfohlen und gute Resultate damit erzielt. Ich verfahre dabei folgendermaßen: Methode Burkhard und Polano

Ein mit dem Sauerstoffapparat (nach Wollenberg-Dräger cf. „Knieuntersuchung") durch einen Gummischlauch in Verbindung stehender metallener Katheter, wird nach gründlicher Entleerung der Blase in letztere eingeführt. Das Einströmen des Gases findet unter mäßigem Druck (1 Atmosphäre) langsam statt und wird durch Perkussion kontrolliert. Schon nach wenigen Sekunden ist die Blase prall gefüllt, ohne daß der Patient eine nennenswerte Belästigung dabei empfindet. Nunmehr wird der Penis über dem Katheter mittels eines Gummischlauches abgeschnürt, um das Herausdringen des Sauerstoffes durch die Harnröhre, neben dem

Neuerdings haben Lichtenberg, Dietlen und Runge mittels einer Art kinematographischer Aufnahmetechnik den Mictionsvorgang im Röntgenbilde zur Darstellung gebracht (Biocystographie). (V. Röntgenkongreß.)

Katheter zu vermeiden. Selbstverständlich wird der Schlauch am freien Ende des Katheters durch eine Klemme festgeschlossen. Die Aufnahme wird nach den für Blasenaufnahmen üblichen Regeln gemacht. Die Blase markiert sich als praller Ballon und etwaige Steine treten in plastischer Schönheit zutage, daneben sieht man das in der Blase liegende Ende des Katheters. Tafel X. Für die Steindiagnose ist dieses Verfahren von größter Bedeutung, da bei seiner exakten Anwendung so leicht wohl kein Konkrement übersehen werden kann. Bezüglich seiner Ungefährlichkeit sind die Akten noch nicht geschlossen. Über Sauerstoffeinblasungen verlautet bis jetzt noch nichts Ungünstiges (siehe unten).[1]

Sauerstoff-einführung in die Blase

Benutzt man an Stelle des metallenen einen elastischen Katheter, so kann man Mißerfolge erleben, da sich die Spitze des Katheters durch Stoß gegen die Blasenwand an seinem oberen Ende spitzwinkelig abknickt und hierdurch den Durchtritt des Sauerstoffs entweder ganz aufhebt oder wesentlich erschwert. Eine derartige Abknickung bemerkt man im übrigen schon während der Einblasung, da sich die Blase nicht prall spannt nnd der Patient nicht über Druckgefühle klagt.

Burkhardt und Polano regen in ihrer Publikation eine vorsichtige Anfüllung des Harnleiters und des Nierenbeckens mit Sauerstoff an. Ich bin mit Kutner, mit welchem ich über diese Angelegenheit unterhandelte, der Ansicht, daß Insufflationen von Sauerstoff in das Nierenbecken sehr gefährlich werden können, da eine Embolie bei der Kürze des Weges zwischen dem Nierenbecken und den großen Gefäßen durch Osmose möglich ist. Auch die Blasenauffüllungen mit Sauerstoff sind mit Vorsicht vorzunehmen, da nachgewiesenermaßen ein rückläufiger Strom aus dem Harnleiter in das Nierenbecken zurück vorhanden ist. Dieser rückläufige Strom kann Sauerstoff in das Nierenbecken verschleppen und so zur Embolie Veranlassung geben. An die Embolie muß man auch bei der Blasen-Insufflation denken. Wenn auch Ulzerationen, durch welche Embolien bewirkt werden können, in der Blase mit Aus-

Sauerstoff-einführung in den Harnleiter

[1]) Bei Blasenblutungen sind die Ratschläge von Burkhardt u. Polano zu befolgen. „Erscheint es nicht rätlich, wegen Blutungen die Blase vor der Anfüllung mit Sauerstoff ganz zu entleeren, so geht man in der Weise vor, daß man die Blase so weit als möglich mit Flüssigkeit füllt, und zwar durch einen doppelläufigen Katheter, dessen eine Öffnung zunächst verschlossen ist. Nach der Füllung mit Flüssigkeit durch die andere Öffnung wird diese mittels eines Gummischlauches mit dem Sauerstoffapparat oder Gasometer verbunden unter Beseitigung des Katheterverschlusses. So strömt gleichzeitig Sauerstoff ein und Flüssigkeit wieder ab; letzteres so lange, bis sie durch den Sauerstoff vollständig vertrieben ist, worauf der Sauerstoffapparat geschlossen wird."

Blasen-blutungen

nahme bei Tuberkulose selten vorkommen, so könnte doch durch Osmose Sauerstoff in die fingerdicken Venen, welche oben an der Blase verlaufen, eindringen.

Wenn auch auf alle Gefahren bei dieser Technik hingewiesen werden muß, so glaube ich dieselbe dennoch in geeignetem Falle empfehlen zu können, unter der Voraussetzung, daß sie mit der größten Vorsicht ausgeführt wird.

II. Nierensteine.

Treten wir der Frage des Nierensteinnachweises theoretisch näher, so müssen wir uns zunächst darüber klar sein, daß wir nur dort Eindrücke auf der photographischen Platte erhalten, wo es sich um Gegenstände handelt, welche ein von ihrer Umgebung verschiedenes Absorptionsvermögen für die Röntgenstrahlen haben. Wir sehen das Herz und die Aorta, weil diese in der Umgebung der Lungen liegen, und weil das lufthaltige Lungengewebe wesentlich durchlässiger ist als das Herz und die blutgefüllte Aorta. Würden die Lungen das gleiche Absorptionsvermögen wie die Kreislauforgane haben, dann könnten wir von den letzteren nichts differenzieren. Das gleiche gilt von den Knochen, welche nur deswegen so deutlich zur Anschauung zu bringen sind, weil ihr Absorptionsvermögen größer ist als das der umgebenden Muskulatur usw. Selbstverständlich spielen diese Verhältnisse auch bei dem Nachweis von Nierensteinen eine bedeutende Rolle, denn diese können sich nur dann auf der Platte markieren, wenn ihr Absorptionsvermögen größer ist, als das der sie umgebenden Nieren. Aus den Untersuchungen von Walter und Voller hat sich ergeben, daß das Absorptionsvermögen eines Körpers für die Röntgenstrahlen außer von seiner Dichte in erster Linie von dem Atomgewicht seiner elementaren Bestandteile abhängt. Das heißt, daß von zwei chemischen Elementen dasjenige mit höherem Atomgewicht auch stets den größeren Bruchteil derselben Röntgenstrahlung zurückhält. (Walter.)

Nierensteine

Da nun die organischen Verbindungen vorwiegend Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, sämtlich Elemente von niedrigem Atomgewicht, enthalten, so ist es ohne weiteres klar, daß wir von den meisten Weichteilen des Körpers, also auch von reinen Gallensteinen, keine oder nur mangelhafte Bilder bekommen. Erst das Hinzutreten anorganischer Salze, wie z. B. bei den Knochen, erhöht das Absorptionsvermögen und gewährt dadurch die Darstellungsmöglichkeit auf der photographischen Platte. Prüfen wir also die Nierensteine auf das Atomgewicht ihrer Bestandteile, resp.

Atom- und spezifisches Gewicht

auf ihr Absorptionsvermögen, so ergibt sich, daß, gleiche Dichte der zu vergleichenden Steine vorausgesetzt, die Phosphatsteine bezüglich ihres Atomgewichtes am günstigsten dastehen.

In der Tat sind aber die oxalsauren Steine bei weitem die dichtesten, und somit kommt ihnen das höchste Absorptionsvermögen zu. An zweiter Stelle stehen die Phosphatsteine. Die ungünstigsten Verhältnisse bieten die reinen harnsauren Konkremente, welche nur sehr selten darzustellen sind. Markieren sie sich doch, so erklärt sich dieses meistens durch den vielfach in harnsauren Steinen vorhandenen Kalk. Xanthin und Cystinsteine dürften demnach theoretisch die ungünstigsten Chancen bieten.

Cystinsteine

Praktisch verhält sich die Sache indessen manchmal anders, wie der von Rumpel beschriebene Fall von Cystinsteinen beweist. Die kleinen nur erbsengroßen Steine hatten sich außerordentlich deutlich auf der Platte abgezeichnet.

Um also das Absorptionsvermögen der Steine festzustellen, bedarf es der Kenntnis ihres spezifischen Gewichtes und des Atomgewichtes ihrer einzelnen Bestandteile.

Die folgende von Cowl aufgestellte Tabelle orientiert uns am besten über diese Verhältnisse:

	Atom.-Gew.	Spez. Gew.	enthalten in:
Calcium	40	1,6	Oxalatsteinen, Phosphatsteinen
Magnesium	24	1,7	Oxalatsteinen, Phosphatsteinen
Phosphor	31	2,0	Oxalatsteinen, Phosphatsteinen
Kalium	39	0,9	Uratsteinen.
Natrium	23	1,0	Uratsteinen.

Sehr oft bestehen die Steine aus Mischungen obiger Bestandteile. Chemisch reine Steine sind nach den Untersuchungen von Fatino[1]), welcher unter 116 Steinen nur 28 chemisch reine fand, von denen wieder 17 aus Harnsäure bestanden, selten.

Woher kommt es nun, daß trotz der theoretisch günstig erscheinenden Aussichten doch so viele Mißerfolge bei der Untersuchung auf Nierensteine erzielt werden? Es liegt dieses vorwiegend an einer mangelhaften Technik.

Wenn man einen Patienten mit dem Rücken auf die photographische Platte legt, die Röhre auf die Nierengegend einstellt und nun eine gewisse Zeit bestrahlt, so kann man unter Umständen, bei günstig liegenden Verhältnissen, eventuell vorhandene große Nierensteine auf der Platte erhalten. Der Grund, weshalb kleine Steine sich bei dieser Art der Untersuchung nicht markieren, liegt

[1]) Arch. f. klin. Chirurgie XXV, Heft 2.

darin, daß die von den Röntgenstrahlen getroffenen Gewebe ihrerseits entogene Sekundärstrahlen aussenden und zwar um so mehr, je dichter die Schicht der zu durchdringenden Weichteile ist. Bei einem Körperteil von geringer Dicke, wie z. B. der menschlichen Hand, ist die Menge der Sekundärstrahlen gering. Die die Hand durchsetzenden Strahlen treffen unmittelbar die untergelegte photographische Platte und rufen auf derselben ein ungemein scharfes Knochenbild, welches alle Feinheiten der Struktur zeigt, hervor. Wesentlich anders sehen schon die ohne Blenden gemachten Beckenbilder aus. Von Knochenzeichnung ist meist wenig zu erblicken, die ganzen Platten erscheinen leicht grau verschleiert, ein Phänomen, welches wir bei den Nierensteinaufnahmen in erhöhtem Maße beobachten. Diese Verschleierung wird durch die im menschlichen Gewebe entstehenden Sekundärstrahlen verursacht. Die der Platte aufliegenden Körperteile — also im vorliegenden Falle die Nieren und die sie umgebenden Weichteile — werden nicht nur durch die direkten Strahlen getroffen, sondern sie selber, sowie die übrigen umgebenden Weichteile senden nach allen Seiten Sekundärstrahlen aus, wodurch der scharfe Schattenwurf aufgehoben, die Platte verschleiert und etwaige Steine undeutlich werden oder ganz verschwinden.

Die Anwendung der Blenden gestattet nun, die Entstehung der Sekundärstrahlen wesentlich zu beschränken, und gewährt dadurch die Möglichkeit, auch kleine Konkremente, welche ohne Blende überhaupt nicht sichtbar sind, zur Darstellung zu bringen.

Die kleinsten bisher nachgewiesenen Konkremente von Streichholzkopf bis Linsengröße stellte ich auf der Weltausstellung in St. Louis 1904 aus. Seitdem haben auch andere Untersucher (Holzknecht) ähnliches berichtet. Kleinste Konkremente der Nieren

Das Prinzip des hierfür erforderlichen Apparates besteht darin, daß aus dem zu untersuchenden Körper, in diesem Falle also aus der Nierengegend, kleine Partien herausgeblendet und für sich untersucht werden. Hierbei ergibt sich, daß das Bild um so schärfer ausfällt, je enger die zwischen Röhre und Patienten gebrachte Blende gewählt wird und je näher sich dieselbe der photographischen Platte befindet, mit anderen Worten, daß die die Platten verschleiernde sekundäre Strahlung sich durch die Blenden so wesentlich verringert, daß die Verschleierung teilweise aufgehoben wird und dadurch schärfere Bilder entstehen. Da nun jeder Blendenweite bei gleichem Abstand der Blende von der Platte ein bestimmter Belichtungskreis entspricht, so folgt, daß, falls der zu röntgenographierende Bezirk größer ist als der Belichtungskreis, nur eine Aufnahme nicht ausreichen würde, um alle Teile des ersteren auf

der Platte zu sehen. Wir müssen demnach einzelne Partien des zu untersuchenden Objektes auf Einzelplatten bringen, deren Summe zum Schluß das Gesamtbild ergibt.

Ich verfahre demnach bei der Untersuchung des Patienten mit der Tisch- oder Wandarmblende folgendermaßen:

Da es a priori sehr schwer zu sagen ist, wo die eventuellen Nierensteine liegen werden, ob in der Niere selbst, ob im Nierenbecken, oder im Ureter usw., so untersuche ich einen Bezirk, dessen Grenzen die Wirbelsäule, die vorletzte Rippe, die Crista ossis ilei und die freie Körperseite bilden, also eine Fläche von ca. 16 qcm. Innerhalb dieses Quadrates liegen sicher die eventuellen Steine mit Ausnahme der bereits im Becken befindlichen Ureterensteine.

Bei einem Blendendurchmesser von $2^1/_2$ cm, einem Blendenabstand von der Platte von 30 cm, decken fünf Belichtungskreise diese Fläche von 16 qcm vollständig.

Zunächst wird unter ungefährer Einhaltung der oben beschriebenen anatomischen Grenzen dem Patienten ein Quadrat von 16 cm Seitenlänge mit Fettstift auf die Rückenhaut gezeichnet und in dem ersteren die Punkte 1—5, die Zentren der ebenerwähnten fünf Belichtungskreise, markiert. Mittels eines mit Wasserwage versehenen Tasterzirkels werden diese fünf Punkte auf die Bauchhaut übertragen. Nunmehr wird Patient in Rückenlage gebracht und ihm eine Platte vom Format 13/18 so untergelegt, daß ihr Mittelpunkt zunächst genau unter Punkt 1 (Rückenpunkt) zu liegen kommt. Jetzt wird der Mittelpunkt der Bleiblende senkrecht über den dem Punkt 1 entsprechenden Punkt 1 auf der Bauchhaut bei 30 cm Abstand von der Platte eingestellt und zum Schluß die Röhre über der Blende zentriert. Es befinden sich also Mittelpunkt der Antikathode, Zentrum der Blende, Bauchpunkt 1, Rückenpunkt 1 und Mittelpunkt der Platte senkrecht übereinander. Nachdem exponiert und entwickelt ist, zeigt die Platte den Beleuchtungskreis Nr. 1, womit $^1/_4$ des Quadrates abgesucht ist. Die übrigen drei Viertel werden genau in gleicher Weise röntgenographiert. Da nun aber ein eventueller Stein zufälligerweise genau auf Punkt 5, dem Schnittpunkt sämtlicher vier Beleuchtungskreise, liegen könnte, so wird auch noch eine fünfte Platte genommen und auf Punkt 5 eingestellt.

Gut und sicher sind die Ergebnisse erst seit Einführung der Kompressionsblende geworden.

Wenn es, wie bekannt, bei vorsichtiger, allmählich in die Tiefe dringender Palpation schließlich in geeigneten Fällen gelingt, die Nieren zu fühlen, so muß es auch möglich sein, mit einem stumpfen,

nicht zu großen Gegenstand, bei langsamen Druck allmählich fast unmittelbar an die Nierengegend heranzukommen. Hierzu wird der Kompressionszylinder (10 cm), welcher dem Patienten in die Nierengegend gedrückt wird, gebraucht. Liegt der zu Untersuchende auf einer photographischen Platte, so erreicht man es unschwer, die Entfernung zwischen der unteren Rohrapertur und der Platte um 5—10 cm zu verringern. Bei einer so geringen Distanz können wir, da der Zylinder die Därme komprimiert und auf die Seite drückt, selbstverständlich auch eine weichere und kontrastreichere, mithin weniger zur Sekundärstrahlenbildung Anlaß gebende Röhrenqualität benutzen (W 6 BW 5). Es werden also auch solche Konkremente, welche ein niederes Absorptionsvermögen haben, wie harnsaure Steine, infolge der Weichheit der Röhre darzustellen sein.

Da es bei Benutzung dieses (10 cm) Zylinders fast ausnahmslos gelingt, scharfe Bilder des Musculus psoas und Quadratus lumborum und der Nieren selbst zu erzielen, mithin, wie im vorigen Abschnitt ausführlich beschrieben, Weichteile zur Darstellung zu bringen, so wird in solchen Bildern, welche derartige Differenzierungen zeigen, sich ein Konkrement bis etwa Erbengröße fast unter allen Umständen abzeichnen müssen.

Als Forderung für ein technisch genügendes Bild der Nierengegend sind folgende Bedingungen zu formulieren:

1. Sichtbarkeit der Processus transversi der Wirbelsäule,
2. deutliche Sichtbarkeit der letzten beiden Rippen mit Struktur,
3. Differenzierung des Musculus psoas und des Quadratus lumborum,
4. Sichtbarkeit fast der ganzen Niere. (Der obere Nierenpol ist nur selten zu erkennen.)

Kriterien der Aufnahme

Zeigt eine Aufnahme diese Qualität und sind keine für Nierensteine sprechenden Schatten vorhanden, so stehe ich nicht an, nach meinen jetzigen Erfahrungen im allgemeinen das Vorhandensein größerer Konkremente (etwa bis Erbsengröße) auszuschließen, wobei die Einschränkung zu machen ist, daß reine Harnsäuresteine doch vorhanden sein können. Ich stehe hierin im Widerspruch zu Rumpel und Kümmell, welche die Ansicht vertreten, daß jeder Stein, sei er groß oder klein und von beliebiger chemischer Beschaffenheit, nachgewiesen werden könne.

Statistik der Steinaufnahmen

Nach Israel-Immelmann (1906) entziehen sich 2 % der Steine dem röntgenographischen Nachweis. Nach Kienböck sind 2 % aller Steine nicht nachweisbar. Haenisch (1909) berechnet aus unserem gemeinsamen Material 2,6 % Gesamtirrtum. Leonard hat 3 % Fehldiagnosen.

Daß auch bei technisch scheinbar vorzüglichen Platten durch besondere anatomische Verhältnisse bedingte Fehldiagnosen gestellt werden können, lehren folgende Fälle.

Patient L. von magerer Körperbeschaffenheit war bereits zweimal ohne positives Resultat auf Nierensteine untersucht worden. Wegen andauernder Blutungen mußte eine dritte Untersuchung vorgenommen werden, bei welcher eine zweifelhaft positive und eine negative Platte erhalten wurde. Da die Röhre sehr weich war, so zeigten die Platten verhältnismäßig wenig Knochenstruktur. Um den Befund nachzukontrollieren, wurde eine etwas härtere Röhre genommen und ein Bild damit erzielt, welches gute Struktur der Wirbelsäule und Rippen aufwies. Es fand sich ein für einen kleinen Stein sprechender Schatten mit verwaschenen Konturen. Da immer noch Bedenken bezüglich der Richtigkeit der Diagnose vorlagen, wurde nach einiger Zeit eine vierte Untersuchung vorgenommen. Es gelang nicht, den Schatten wiederdarzustellen. Auf Grund einer positiven und vieler negativen Platten wurde die Diagnose Stein nicht gestellt. Die einige Monate später vorgenommene Operation (Prof. Israel) förderte einen etwas über erbsengroßen, bröckeligen, wahrscheinlich harnsauren Stein zutage.

Fehldiagnosen

Der Fall lehrt 1. daß unter ungünstigen Umständen vorhandene Steine aus unbekannten Ursachen selbst bei mageren Personen übersehen werden können, 2. daß die Fehldiagnose nicht gestellt worden wäre, wenn man den Mut gehabt hätte, auch auf Grund einer positiven Platte bei der Diagnose zu bleiben. Letzteres wird indessen nur derjenige verantworten können, der durch jahrelange Übung in der Plattendiagnose die nötige Erfahrung zu haben glaubt.

Es kommen ferner seltene Fälle vor, bei welchen man die ganze Niere deutlich auf der Platte überblickt und nicht den geringsten Konkrementschatten sieht. Dennoch findet man bei einer später vorgenommenen Nachuntersuchung mühelos einen deutlichen Steinschatten. Eine Erklärung weis ich hierfür nicht zu geben. Vielleicht handelt es sich in solchen Fällen um ein an und für sich durchlässiges Konkrement, an das sich während der ersten und zweiten Untersuchung Kalk ankrystallisiert hat.

Hydro- und Pyonephrose

Daß eine Hydro- oder Pyonephrose namentlich dann, wenn es sich um reine Harnsäuresteine handelt, die Darstellung erschweren, unter Umständen sogar vereiteln kann, lehrt folgender von Dietlen beobachtete und mir brieflich mitgeteilte Fall.

Es handelt sich um einen älteren Herrn, stark fettleibig, bei dem die Diagnose Nephrolithiasis, durch klinische Symptome ziemlich sicher stand und zwar linksseitig. Die Platten ergaben denn auch links das Vorhandensein von Konkrementen, anscheinend nur kleinen. Obwohl nach den Platten auch rechts Konkremente anzunehmen waren, wurde bei plötzlich eingetretener Anurie doch links operiert, da fast nur links Schmerzen bestanden hatten. Es fand sich ein großer Stein im Nierenbecken und ein kleinerer im Ureter. Zwei Tage später wieder Anurie, vorübergehende, schließlich komplette Darmparalyse; der Mann ging trotz anus praeternat. an Herzschwäche zugrunde. Bei der Autopsie fand sich ein Riesenstein im rechten Nierenbecken. Wenn man jetzt nachträglich die Platten betrachtet, so muß man

allerdings sagen, daß sie hätten veranlassen sollen, zuerst rechts zu operieren, aber man stand damals ganz unter dem Eindruck der nur auf die linke Seite hinweisenden klinischen Symptome.

Sämtliche Steine waren harnsaure Konkremente und besaßen eine hohe Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen. Bei dem betreffenden Patienten war beiderseits etwas Hydronephrose vorhanden; ich nahm an, daß sich aus diesem Grunde die großen Steine verhältnismäßig undeutlich auf den Platten dokumentiert hatten, und habe dann die Steine in Glasschalen in einer dünnen Schicht Wasser mit Röntgenstrahlen photographiert. In der Tat zeigt da der Harnsäurestein kaum einen Absorptionsunterschied gegenüber dem ihn umgebenden Wasser. Es erschien mir wichtig, darauf hinzuweisen, daß eventuell vorhandene Hydro- oder Pyonephrose die Sichtbarkeit von Steinen auf der Röntgenplatte stark beeinflussen könne. Auch bei der Photographie des Steines in einer Niere durch einen mittelkräftigen Menschen hindurch bei 5 cm Abstand von der Platte waren die Konturen des Harnsäuresteines ganz unscharf.

Die Konkrementschatten sind bisweilen so außerordentlich schwach, daß sie kaum vom Auge wahrgenommen werden. Man wird solche Platten bei Abblendung alles seitlichen Tageslichtes sowohl im feuchten wie im getrockneten Zustand in der Durchsicht, sowohl in der Nähe wie aus der Entfernung betrachten müssen, wobei es sich empfiehlt, die Negative nicht nur vertikal, sondern auch horizontal zu halten, da dann bisweilen schwache Steinkonturen deutlicher hervortreten. Diese haben stets etwas Charakteristisches, so daß der Geübte sie nicht leicht mit den durch Darminhalt bedingten Schatten verwechseln kann. Sie besitzen zum Teil ziemlich scharfe und nicht verwaschene Konturen, während Schatten des Darminhalts wolkige, buchtige, unscharfe Umrisse zeigen. Bisweilen zeigen die Nierensteine infolge respiratorischer Bewegung der Niere an der der Crista ilei zugewandten Seite Unschärfe, so daß der Schatten einen kammartigen Eindruck macht. Aus dieser infolge der Bewegung des Steines entstandenen Unschärfe, kann man unter Umständen den Schluß ziehen, daß sich das Konkrement in der Niere befindet. Diese merkwürdige kammartige Form (Fig. 180) kommt so zu stande, daß der Stein beim inspiratorischen Heruntertreten der Niere, seine untere Kontur verwischt. Da er nun aber beim Hinauftreten der Niere, stets wieder in seine alte Lage zurücktritt und nicht über dieselbe hinaufsteigt, so bleibt die obere Kontur scharf. Aus dieser durch die Atmung bedingten Verschiebung des Steines kann man schließen, daß die Niere bei ruhiger Respiration gleichzeitig mit dem Zwerchfell inspiratorisch heruntertritt, daß sie dagegen auf der Höhe der Exspiration in ihre Normalstellung zurück, aber nicht darüber hinaus nach oben sich bewegt.

Respiratorische Nierenbewegungen


Fig. 180.

Besonders charakteristisch ist die Form der Steine, wenn sie aus dem Nierenbecken einen spornförmigen Fortsatz in den Harnleiter hineinsenden. Auch die in den Nierenkelchen befindlichen Zacken markieren sich in vielen Fällen. Die Haustra des Darmes sind, wenn dieser mit Luft gefüllt ist, oft sehr deutlich sichtbar und können unter Umständen mißdeutet werden.

Verknöcherte vordere Rippenbögen

Bei der Untersuchung älterer Personen auf Nierensteine ist besonders darauf zu achten, ob die knorpeligen Partien der vorderen Rippenbögen, wie dieses häufig vorzukommen pflegt, verknöchert sind. Auf den Platten markieren sich diese Verknöcherungen als weiße Flecke, welche unter Umständen mit Nierensteinschatten verwechselt werden können. Die Flecken liegen indes stets streifenförmig in der Längsachse der Rippen angeordnet, so daß man schon aus diesem Verhalten, sowie aus der mehr peripheren Lage auf ihre wahre Natur schließen kann. Man hüte sich vor allem, die Processus transversi der Wirbelsäule für Konkremente auszusprechen, wozu man besonders leicht verleitet wird, wenn die äußeren Spitzen der Fortsätze stark verkalkt sind und daher besonders helle Flecken auf der Platte geben. Zu Irrtümern können ferner verkalkte mesenteriale und retroperitoneale Drüsen Veranlassung geben. Die Unterscheidung derselben von Nierensteinen wird unter Umständen sehr schwer sein, da sie in Form und Lage den Konkrementen außerordentlich gleichen.

Ich beobachtete bei einer Frau einen, in der Gegend der linken Nieren liegenden runden Schatten, welcher, ohne Kenntnis des klinischen Befundes, unzweifelhaft für einen Nierenstein angesprochen sein würde. Die Form und Lage entsprach in der Tat einem Konkrement im Nierenbecken umsomehr, als auch die Niere selber auf der Platte differenziert war.

Es handelte sich aber um einen gut palpablen und leicht verschieblichen, verkalkten Tumor in der Bauchhöhle unbekannter Natur, welcher indes mit Sicherheit zu der Niere oder dem Harnleiter in keiner Beziehung stand.

Auch auf die Rückenhaut des Patienten ist zu achten, da bisweilen dort vorhandene warzige, vielleicht auch kalkhaltige Gebilde Schatten auf der Platte geben, die zu Fehldiagnosen führen können.

Bei Darstellung der Niere kann sich der untere Nierenpol mit dem Muskul. Quadratus lumb. decken und durch diese Schattendeckung unter Umständen ein Konkrement allerdings von sehr schwacher Zeichnung vorgetäuscht werden. Auch ist auf die Schattendeckung des Quadrat. lumb. und der Psoas zu achten.

Die Lage der Nierensteine ist in der Regel sehr charakteristich wie unter anderem aus den Radiogrammskizzen von Kienböck[1]) her-

---

[1]) Folia urologica I Nr. 6.

vorgeht, jedoch beobachtet man zahlreiche Abweichungen, die den Untersucher an seiner Diagnose nicht irre führen dürfen.

In einer Anzahl der Fälle finden wir die Konkrementschatten um die letzte Rippe herumliegend. Auch noch oberhalb derselben, im vorletzten Intercostalraum, kommen solche vor; decken sie sich mit der Rippe, so sind sie schwer zu differenzieren. Alsdann erstreckt sich das Gebiet ihres Auftretens entlang der Wirbelsäule, bei Hydronephrose herunter bis zur Crista ilei, wobei die Ureterensteine mit eingeschlossen sind. Gewöhnlich liegen die Steine zirka drei Querfinger breit von der Wirbelsäule entfernt, bisweilen auch noch mehr nach außen. Liegen sie hart an oder auf der Wirbelsäule oder decken sie sich mit den Querfortsätzen, dann befinden sie sich im Nierenbecken oder im Harnleiter. Bei der vorstehenden Schilderung der Lage ist selbstverständlich eine senkrechte Einstellung des Diaphragma vorausgesetzt. Lage der Konkrementschatten

Daß die ungewöhnliche Lage eines als Konkrement angenommenen Schattens zu großer Vorsicht in der Deutung veranlassen muß, lehren folgende Fälle.

Ich untersuchte eine Patientin, bei welcher die röntgenographische Aufnahme einen wallnußgroßen Schatten dicht oberhalb der Crista ossis ilei ergab. Kontrollaufnahmen bestätigten den Befund; sogar auf dem Leuchtschirm konnte man den Stein deutlich demonstrieren. Er hatte eine ovale Form und einen dunklen länglichen Kern. Die Diagnose wurde auf Nierenstein, entweder im erweiterten Nierenbecken oder im oberen Teil des Harnleiters, gestellt. Die Operation ergab eine völlig normale Niere ohne Steine, auch die Sondierung des Harnleiters von oben ließ keine Konkremente nachweisen. Der Befund war zunächst sehr überraschend und unbegreiflich. Es mußte ein Stein vorhanden sein, dafür sprachen die äußerst prägnanten Schatten. Der weitere Verlauf des Falles erklärte dann die Sachlage. Nach der Operation war in der Nierengegend eine nicht zur Heilung kommende Fistel übrig geblieben. Als diese nach geraumer Zeit sondiert wurde, fühlte man deutlich einen rauhen Körper. Die Möglichkeit, daß die Beckenschaufel sondiert wurde, lag vor. Sehr bald gelang es indessen, aus der Fistel mittels Kornzange einen Stein herauszuziehen, dessen Größe genau dem auf der Platte erhobenen Befunde entsprach. Der Stein enthielt in seinem Innern eine Höhlung, welche mit Haaren usw. ausgefüllt war. Seine Schale bestand aus Kalk. Es handelte sich um einen perforierten Kotstein, welcher extraperitoneal hinter der Nierengegend lag und somit Veranlassung, für einen Nierenstein angesprochen zu werden, gegeben hatte. Der Verlauf war im übrigen ein guter. Fehlerquellen

Vor solchen Irrtümern wird man sich nur schwer schützen können. Zum Glück werden derartige Fälle außerordentlich selten sein. Ich möchte jedoch darauf hinweisen, daß schon auf der Röntgenplatte der Stein einen dunklen Kern zeigte. Es läßt dieses auf einen Hohlraum schließen, ein Merkmal, welches man eventuell differenzial-diagnostisch gegenüber den Nierensteinschatten, welche

diese Hohlräume nicht zeigen, benutzen kann. Allerdings hat Straeter auch bei einem Nierenstein einen Hohlraum beobachtet. In den meisten Fällen zeigen Kotsteine eine konzentrische Schichtung. Der Fall lehrt ferner, wie wichtig es ist, neben der Röntgenuntersuchung die übrigen klinischen Methoden aufs genaueste zur Anwendung zu bringen. Im vorliegenden Falle fehlte Blut im Urin. Trotzdem würde wohl kein Chirurg Bedenken getragen haben, bei derartig markanter Platte zu operieren.

Sehr wichtig ist der folgende Fall, welcher auf manche trotz klinisch positiver Steindiagnose röntgentechnisch negativ ausgefallene Untersuchungen Licht werfen kann. Patient H. verspürte nach dem Reiten einen intensiven Schmerz, welcher ziemlich zirkumskript in der Gegend des Proc. spin. des vierten Lendenwirbels lokalisiert wurde. In der Annahme, daß durch die Anstrengung des Reitens durch eine Zerrung oder dergleichen die Schmerzen bedingt seien, enthielt er sich längere Zeit des Reitens, was das Verschwinden der Schmerzen zur Folge hatte. Patient, der sich für völlig gesund hielt, stieg dann wieder in den Sattel und konnte ohne Beschwerden wie früher reiten, ja sogar Hindernisse nehmen. Leider war die Freude kurz, denn bereits wenige Stunden nach diesem neuen Versuch stellten sich die alten Schmerzen in erhöhtem Maßstabe ein und blieben tagelang bestehen. Die Annahme, daß vielleicht doch eine Wirbelverletzung vorliegen könne, gaben die Veranlassung, ärztliche Hilfe aufzusuchen. Außerlich war an der schmerzhaften Stelle nichts zu palpieren, die Proc. spinos. waren auf Druck unempfindlich, dagegen gab Patient an, einen Schmerz rechts in der Tiefe zu verspüren, wenn man auf die Gegend des vierten Lendenwirbels drückte. Dieser Schmerz wurde genau in der Mittellinie lokalisiert. Urin war normal, im Sediment fanden sich einzelne Leukozyten, aber keine roten Blutkörperchen. Zwecks Herstellung eines Röntgenogramms wurde die schmerzhafte Stelle genau auf die Mitte einer Platte 18/24 gelagert und der Kompressionszylinder (13 cm Durchmesser) senkrecht über der zu untersuchenden Partie zentriert. Die Platte, desgleichen die Kontrollaufnahme zeigten eine völlig normale Wirbelsäule, sowie einen zackig konturierten kirschkerngroßen Schatten, 1 cm rechts oberhalb des Proc. transvers. des vierten Lendenwirbels. Auf nochmaliges Befragen gab Patient jetzt an, daß die Schmerzen nicht ganz in der Mitte des Körpers, sondern etwas mehr nach rechts lokalisiert seien. Zur Sicherstellung der Diagnose Nierenstein wurde nun nach zwei Tagen die Nieren- und Harnleiteruntersuchung mit den von mir angegebenen drei typischen Zylindereinstellungen vorgenommen. Das Resultat war ein negatives, indem auch nicht der schwächste Steinschatten nachzuweisen war. Eine Aufnahme mit genau medianer Einstellung förderte dann wie bei der erstmaligen Untersuchung den Konkrementschatten deutlich zutage.

Dieses unerwartete Resultat der Röntgenuntersuchungen ist nur so zu erklären, daß der Harnleiter bei diesem Patienten nicht neben, sondern annähernd vor dem Wirbelsäulenschatten läuft, mithin ein in ihm befindliches Konkrement in den ersteren hineinprojiziert und somit unsichtbar wird, während es bei senkrechter medianer Einstellung aus dem Wirbelsäulenschatten herausprojiziert

wird. Der Fall läßt auch die Annahme einer Hufeisenniere zu, an welche man bei über der Wirbelsäule liegenden Steinen stets zu denken hat.

Ein in dem Wirbelsäulenschatten liegender Steinschatten wird sich in den meisten Fällen nicht markieren, es sei denn, daß es sich um einen größeren Oxalatstein handelt.

Als Nutzanwendung aus dieser Beobachtung ergibt sich die Notwendigkeit in ähnlichen unklaren Fällen, außer den im folgenden beschriebenen drei typischen Röhreneinstellungen auch eine Medianaufnahme zu machen, die gewissermaßen als Übersichtsaufnahme der beiderseitigen neben der Wirbelsäule gelegenen Partien gelten kann. Hierzu wird der Zylinder (13 oder 19 cm) etwa auf die Mitte der Verbindungslinie zwischen Proc. ensiformis und Nabel zentriert.

Bevor man an die Untersuchung auf Nierensteine herangeht, ist für gründliche Darmentleerung durch Abführmittel und Einlauf zu sorgen.

Für die Nieren- und Ureterensteinuntersuchungen mittels der Kompressionsmethode kommen für jede Seite ***drei typische Stellungen*** in Betracht.

Stellung I: Diese kommt in erster Linie bei Frauen zur Anwendung, weil der Rippenbogen der letzteren weiter als beim Mann herunterreicht und schwerer mit dem Kompressionszylinder, wie unter Ia beschrieben, in die Höhe gehoben werden kann.

Patient befindet sich in Rückenlage. Damit die Nierengegend der Platte unmittelbar anliegt, wird zum Ausgleich der mehr oder weniger entwickelten Lordose, wie in Fig. 183 u. 184 angegeben, ein dreieckiger Bock unter die Kniegelenke geschoben. Die untere Apertur des Zylinders (13 cm) wird, wie in Fig. 181 der oberste Kreis zeigt, so auf die Rippen aufgesetzt, daß die Lichtachse durch den knorpeligen Teil des unteren Rippenbogens geht. Eine Kompression läßt sich nicht anwenden, da er nicht elastisch genug ist.

Diese Einstellung ergibt ein Bild (Fig. 182 Kreis I), welches die 12. und einen Teil der 11. Rippe und etwa die Hälfte des 12. Brust- sowie Teile des 1.—3. Lendenwirbels zeigt. Nach unten und außen ist die Aufnahme nicht begrenzt. Der Psoas erscheint als weißes Dreieck, dessen Spitze in der Gegend der 12. Rippe liegt. Die innere Seite des Dreiecks wird von der Wirbelsäule begrenzt, die äußere erstreckt sich schräg nach unten und außen. Parallel zur Wirbelsäule, einige Zentimeter von ihr entfernt, verläuft der schmal erscheinende Quadratus lumborum. Die Ränder beider

sich überkreuzender Muskeln setzen sich deutlich gegeneinander und gegen ihre Umgebung ab. An der Überkreuzungsstelle entsteht durch Schattendeckung eine dichtere Partie, welche wie schon, oben erwähnt, nicht mit Konkrementschatten verwechselt werden darf.

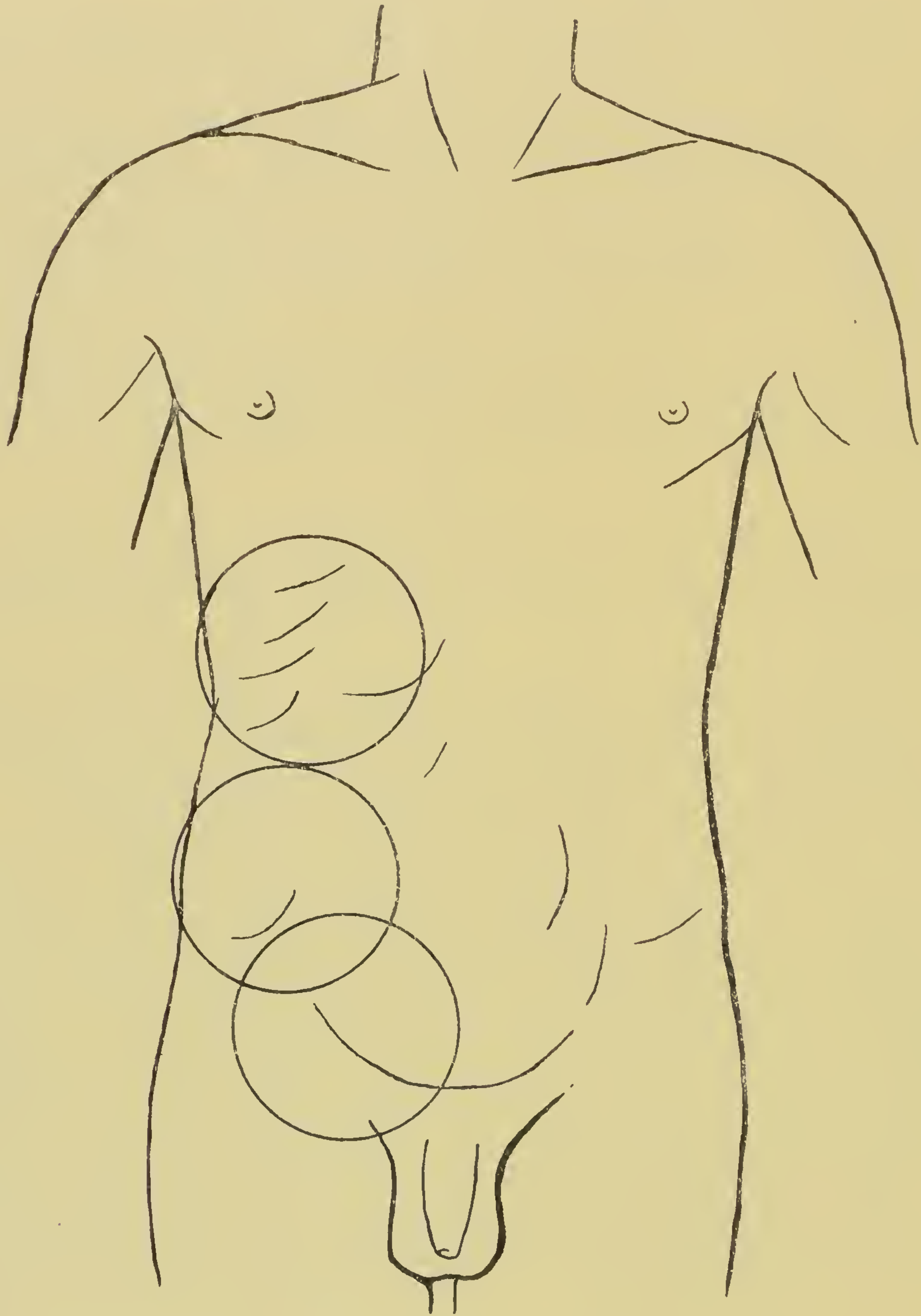


Fig. 181.

An der Außenseite des Quadratus lumborum erscheinen die Darmschatten, je nach ihrem Gasgehalt mehr oder weniger ausgeprägt. Man erkennt deutlich die Nierenkontur an ihrer charakteristischen Form, allerdings erscheint sie, wie jede Röntgenaufnahme, etwas ver-

größert. Besonders bei Fettleibigen sieht man die Niere, da das die letztere umgebende Fett (Fettkapsel) wesentlich durchlässiger als die feste Nierensubstanz ist, wodurch eine überraschende Kontrastwirkung zustande kommen kann.

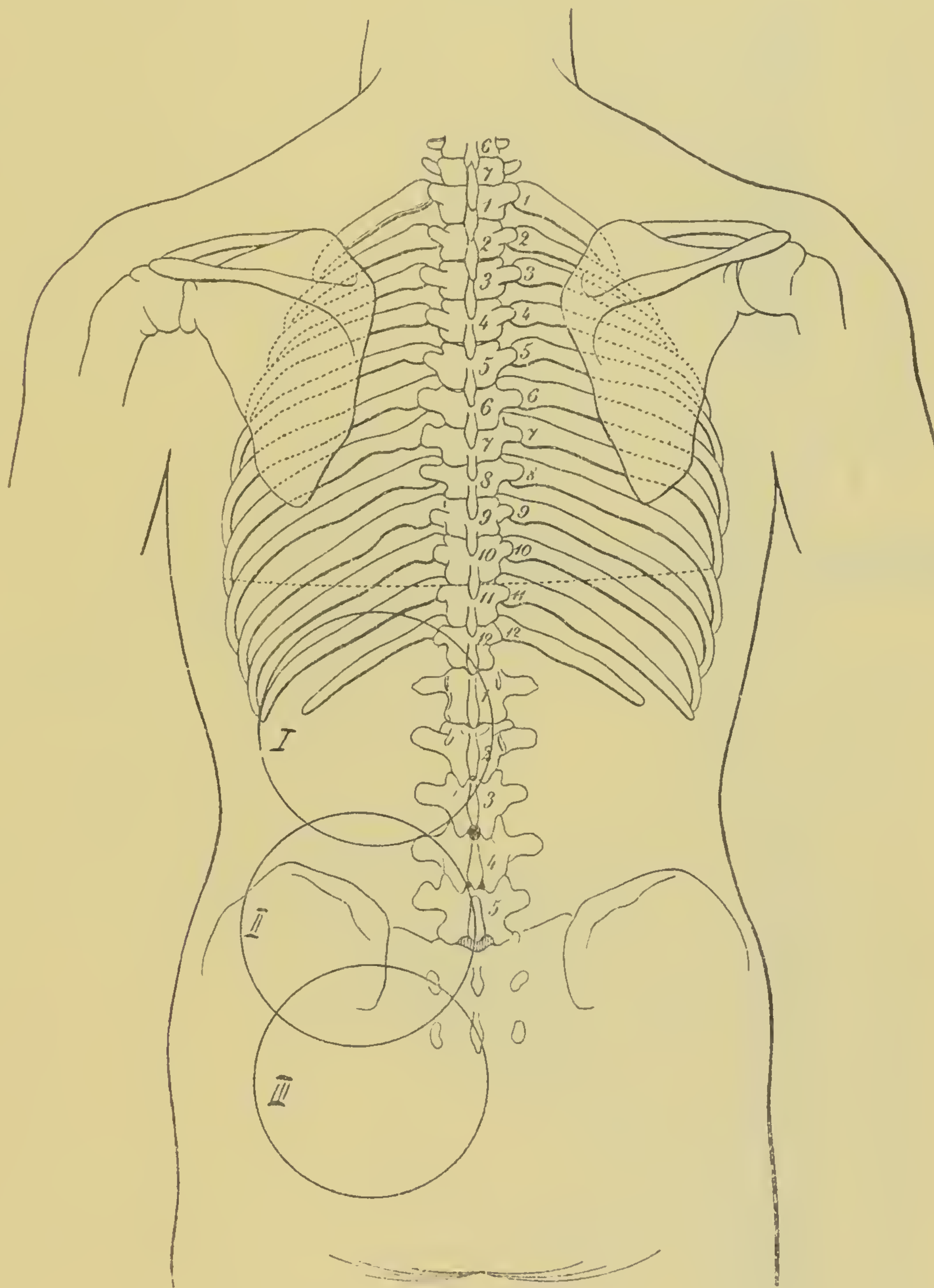


Fig. 182.

Stellung Ia: Lagerung des Patienten wie bei Stellung I, Zylinder (10 cm), mit Schrägstellung des Zylinders wie Fig. 183 zeigt. Diese Stellung, welche hauptsächlich beim Manne zur Anwendung kommt, ist bei weitem die wichtigste. Dicht unterhalb

des Rippenbogens wird der Zylinder (10 cm) möglichst tief senkrecht nach Zwischenlage des oben beschriebenen Luffaschwammes (Fig. 184) eingedrückt. Nachdem er ohne den Patienten zu be-

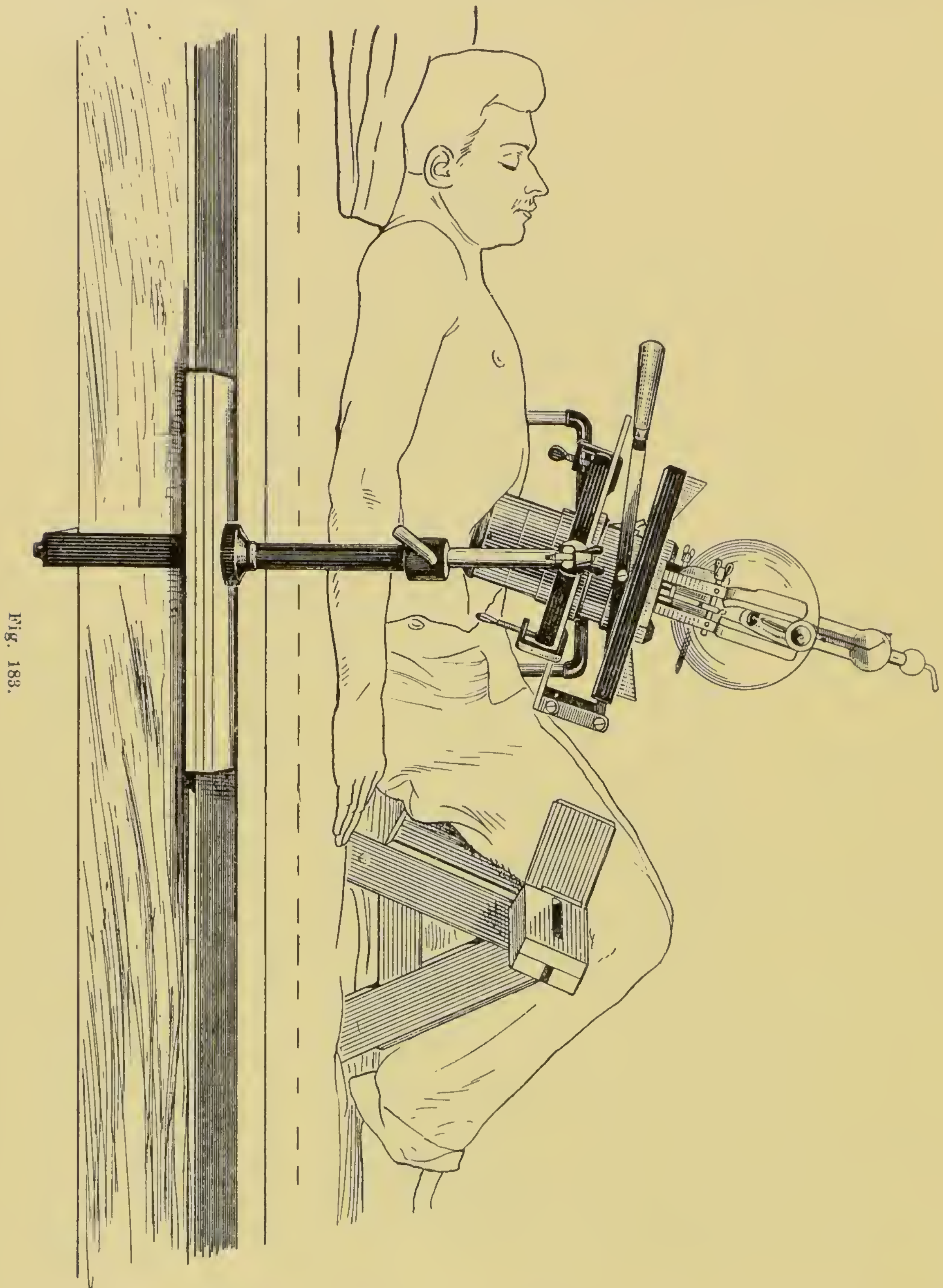


Fig. 183.

lästigen, den tiefsten Stand erreicht hat, wird er vermittelst des drehbaren Rahmens wie in Fig. 183 abgebildet, in Schrägstellung gebracht und in dieser fixiert, hierbei hebt der untere Zylinderrand resp. der Schwamm, falls die Bauchdecken nicht allzu prall

gespannt sind, den Rippenbogen in die Höhe. Die Lichtachse geht nunmehr unter dem Rippenbogen hindurch und trifft direkt die Niere und das Nierenbecken. Da namentlich dann, wenn man mit dem kleinen 10 cm-Zylinder arbeitet, die Entfernung zwischen Niere

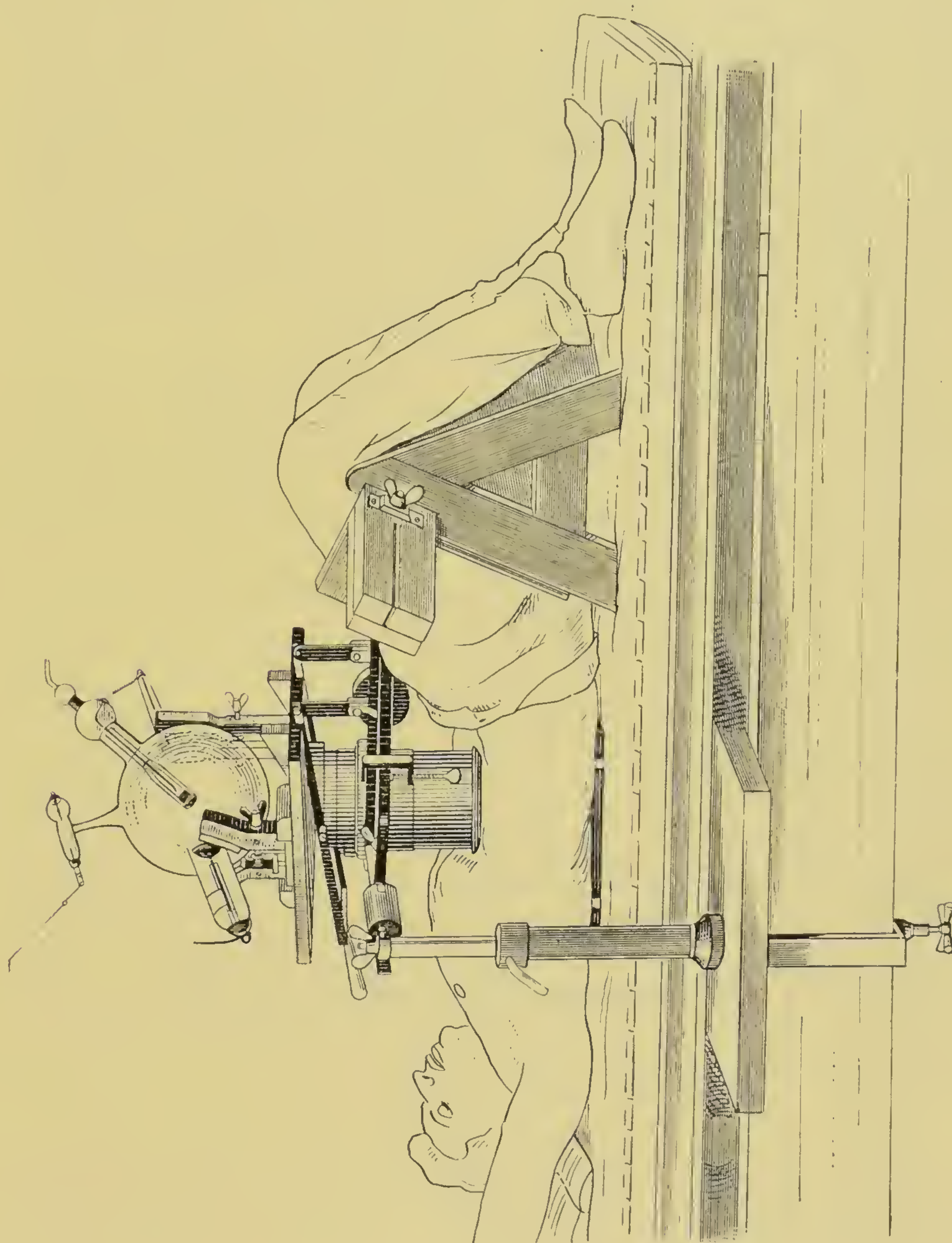


Fig. 184.

und Röhre außerordentlich verringert wird, so erhält man, ganz abgesehen davon, daß der kleine Zylinder eine noch bessere Abblendung als der große zuläßt, sehr kontrastische Bilder der Nieren. Ich habe bei männlichen Patienten bisweilen in Stellung I mit Zylinder (13 cm) ein negatives Resultat erzielt, während Stellung Ia

mit Zylinder (10 cm) sofort ein einwandfreies positives Ergebnis zeigte. Je nach dem Grade der Schrägstellung des Zylinders kann ein Konkrementschatten im Nierenbecken oder im oberen Nierenpol erscheinen. Die Schrägstellung gibt uns Aufschluß darüber, ob ein Konkrement vorhanden ist, während seine Lokalitation, wenn irgend möglich, durch senkrechte Strahlenrichtung erzielt werden muß. Irgend ein Schaden kann dem Patienten nicht zugefügt werden, da man den Grad der Kompression vollständig in der Gewalt hat und je nach dem Einzelfall bemessen kann. Daß man nicht bei Pyonephrosen oder bei peritonealen Reizungen, wovor Grunmach warnt, komprimiert, ist für jeden Arzt selbstverständlich. In der Tat sind auch bisher noch keine durch die Kompression entstandene Koliken oder Schädigungen bekannt geworden.

Schädigung durch die Kompression

Auch Holzknecht und Kienböck bestätigen dieses in ihrem auf dem I. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Urologie 1907 erstatteten Referat. „*Der Druck mit dem Kompressionsrohr wird so allmählich ausgeübt, daß damit kein Schaden angerichtet wird; weder uns noch andern wurde jemals etwas von Auslösung eines Kolikanfalles oder schweren Schädigungen berichtet.*“

Die Toleranz gegen die Kompression ist sehr verschieden. Wie weit man eingehen kann, entscheidet der Patient, welchem nicht die mindesten Schmerzen bereitet werden dürfen, am besten selbst.

Handelt es sich um fettleibige Patienten, so drückt man, bevor man senkrecht komprimiert, sowohl bei dieser, wie bei Stellung II und III das Abdomen mitsamt den Intestinis manuell auf die entgegengesetzte Seite. Die weggedrückten Partien werden durch den mit Schwamm armierten Zylinder am Zurückgleiten verhindert. Man kann auch zweckmäßig, nachdem die Weichteile fortgepreßt sind, leicht massierend (Haenisch) den Luffaschwamm in die Nierengegend pressen und ihn dann, nachdem man ihn mit den Händen in die richtige Situation gebracht hat, mit dem Zylinder in dieser Stellung festhalten.

Stellung II. Lagerung des Patienten wie bei I und Ia. Zylinder (13 cm) mit Luffaschwamm wird dicht unterhalb des unteren Rippenbogens senkrecht so tief wie möglich eingedrückt. (Siehe Fig. 181 und Fig. 184.) Das Bild zeigt ungefähr die Hälfte des 4. und 5. Lendenwirbels, den mittleren Teil der Ureterengegend, ein Stück der Beckenschaufel und des Kreuzbeines und der Synchondrosis sacroiliaca. Wie in Stellung I sieht man einen Teil des schräg verlaufenden Psoas. (Fig. 182 Kreis II.)

Je nachdem der Zwischenraum zwischen letzter Rippe und

Crista ilei groß oder klein ist, was bei den einzelnen Individuen sehr verschieden zu sein pflegt, zeigt Stellung II etwas höhere Partien als soeben beschrieben, so daß bisweilen der untere Teil des Nierenbeckens mit gefaßt wird. Meist ist der untere Nierenpol sichtbar.

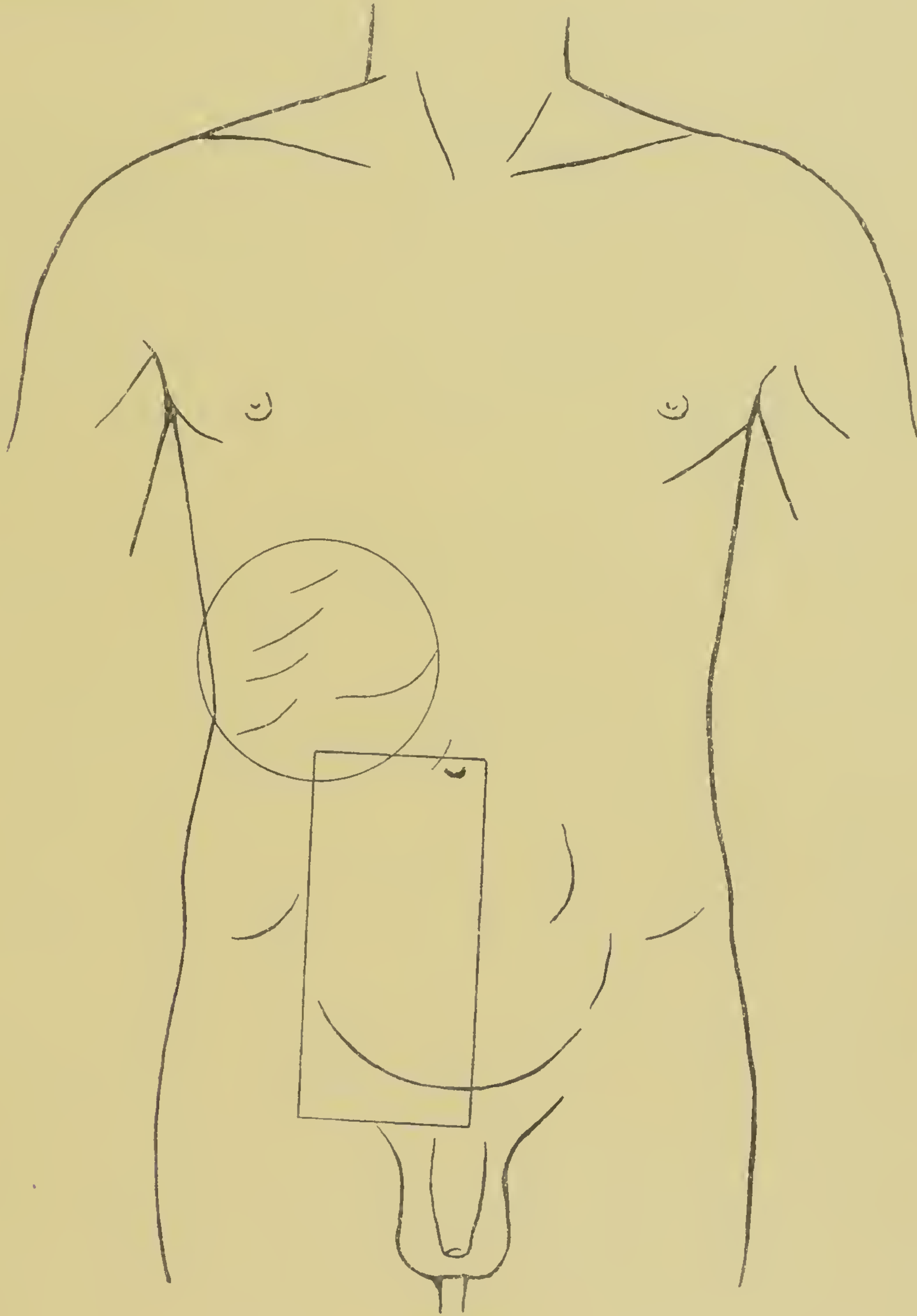


Fig. 185.

Stellung III. Lagerung des Patienten mit ausgestreckten Beinen. Zylinder (13 cm) wird hart am Os pubis vorbei, so daß der mediane Rand des Zylinders die Mittellinie des Körpers berührt (siehe Fig. 181), mit einer leichten Schrägrichtung der Lichtachse nach vorne eingedrückt.

Hierbei ergibt sich ein Bild, welches die Linea innominata, die Synchondrosis sacroiliaca, den unteren Teil des Kreuzbeines und das Steißbein zeigt. (Fig. 182. Kreis III.) Ist die Blase mit Urin gefüllt, so sieht man sie auf den Bildern in ihrer ganzen Ausdehnung.

Diese Aufnahme entspricht dem unteren Teil des Harnleiters, seiner Eintrittsstelle in die Blase, sowie der Blase.

Stellung II und III kann man kombinieren und durch eine Aufnahme mit der Kastenblende ersetzen. Diese muß dann, wie in Fig. 185 abgebildet, so aufgesetzt und eingedrückt werden, daß der Nabel in der rechten Ecke der Blende steht. Die obere Kante liegt 1—2 cm oberhalb der Nabelhorizontalen. Die mediane Kante überschreitet die Längsachse des Körpers ebenfalls um 1—2 cm. Diese Vereinfachung empfiehlt sich, da bei richtig gewähltem Diaphragma genügend scharfe Bilder erzielt werden. Man bekommt so den Ureter in seinem ganzen Verlauf bis zum Eintritt in die Blase auf die Platte.

Wird eine doppelseitige Steinuntersuchung gemacht, so kann man beide Ureteren, soweit dieselben im kleinen Becken liegen, auf eine Platte bringen. Man stellt alsdann Zylinder (13 cm) genau median ein und zwar so, daß sein vorderer Rand hart an der Symphyse vorbei in die Tiefe dringt. Auch hier empfiehlt sich, um die Symphyse aus der Blasengegend heraus zu projizieren, eine geringe Schrägstellung, so daß die Lichtachse unter der Symphyse hindurch geht.

Wir haben mithin je drei Aufnahmen zu machen, welche die Gegend vom oberen Pol der Niere bis hinunter zur Einmündung des Ureters in die Blase deutlich zur Darstellung bringen.[1])

Doppelplattenverfahren nach Koehler

Die gewöhnlichen Platten genügen fast stets für die Nieren und Nierensteinuntersuchungen. Bei fettleibigen Personen kann man mit Nutzen das Koehlersche Doppelplattenverfahren anwenden. Zwei Platten werden Schicht auf Schicht lichtdicht verpackt und auf ihnen die Aufnahme gemacht. Die fertig entwickelten und getrockneten Platten werden dann Schicht auf Schicht liegend im durchfallenden Lichte betrachtet. Infolge der Deckung schwächerer Schatten erhält man auf diese Weise konstrastreichere Bilder. Einen Nebenvorteil gewährt die Methode dadurch, daß man in den Besitz

---

[1]) Es ist von Eppinger empfohlen worden, bei rechtsseitiger Nierensteinuntersuchung das Kolon mit Luft aufzublasen. Ähnlich wie bei der Steißbeinuntersuchung sollen hierdurch die Durchstrahlungsverhältnisse günstigere werden. Ich habe mich von der Güte dieser Methode nicht überzeugen können. Die dem Patienten eingeblasene Luft verursachte starke Leibschmerzen und ging nur langsam wieder ab.

von zwei Negativen kommt, was bei etwaigem Plattenbruch nützlich sein kann. Ein Bruch der Platten durch das Gewicht des Patienten kommt indessen bei Benutzung der oben beschriebenen Kassetten überhaupt nicht vor.

Um das Wesentliche der Untersuchung auf Nierenstein nochmals zusammenzufassen, so ist es ratsam, namentlich in solchen Fällen, bei welchen die Angaben über Schmerzen bezüglich der Körperseite unklar sind, beide Nierengegenden vollständig zu untersuchen. Es kommen recht häufig Fälle vor, in welchen die Schmerzen auf der entgegengesetzten Seite lokalisiert werden als dort, wo wirklich ein Stein vorhanden ist. (Renorenaler Reflex.) Es empfiehlt sich ferner, ebenfalls ein Bild beider Ureteren bis zu ihrer Einmündungsstelle in die Blase herzustellen, denn auch hier können in der Lokalisation der Schmerzen so irreleitende Angaben gemacht werden, daß man unter Umständen auf einen Nierenstein untersucht, während in Wirklichkeit ein Stein an der kritischen Stelle, dicht oberhalb des Eintritts des Harnleiters in die Blase, gelegen ist. Wenn man ganz sicher gehen will, so soll man ebenfalls die Blase in Berücksichtigung ziehen und das Vorhandensein von Konkrementen in derselben bei Untersuchungen auf Nierensteine ausschließen.

Renorenaler Reflex

Falls Wiederholungen einzelner Platten oder Kontrollaufnahmen erforderlich sind, so nehme man die Untersuchungen, schon event. Verbrennungen wegen, an verschiedenen Tagen vor.

Bei der Anwendung der Kompressionsmethode ist allerdings die Möglichkeit einer Verbrennung so gut wie ausgeschlossen, da die Röhre ihren Stand ca. 28—30 cm von der Körperoberfläche unveränderlich einnimmt.

Schutzmaßregel bei der Nierenstein-untersuchung

Die Bestrahlung der nicht zu untersuchenden Körperteile, besonders der Hoden, ist ausgeschlossen, da das Blendenbrett genügend Deckung verleiht. Das Gesicht schützt man wie Seite 278 beschrieben. Die Beine kann man durch eine Überdeckung mit Antixschutzstoff sichern. Im allgemeinen wird indessen ihre Abschützung überhaupt unnötig sein. Schließlich bedarf es nur einer Expositionszeit von zwei, höchstens drei Minuten, eine Zeit, die zu gering ist, um bei 29 cm Röhrenabstand Verbrennungen hervorzurufen. Eine längere Exposition als höchstens drei Minuten, oder gar das nähere Heranrücken der Röhre an den Körper, wie solches früher öfter geschah, ist, da man den Patienten einer großen Gefahr aussetzen würde, durchaus zu verwerfen. Die Untersuchung an verschiedenen Tagen hat außerdem den Wert, daß die Füllungszustände im Darm wechseln, so daß man eventuell Aussichten hat, das zweitemal unter günstigeren Umständen zu arbeiten.

Ist das Resultat ein einwandfreies, d. h. sind auf der Platte deutliche, kräftig ausgesprochene Schatten vorhanden, welche die Form und die Größe etwaiger Konkremente haben und scharfe Konturen zeigen, so kann man die Untersuchung als im positiven Sinne abgeschlossen, betrachten. Anders ist es, wenn die Deutung der Schatten zweifelhaft ist. Man sieht wohl weißliche Flecken in der Gegend der Niere, aber man kann doch nicht mit absoluter Bestimmtheit angeben, ob sie einer Konkrementbildung zugrunde liegen oder nicht. Ist die Konturzeichnung nicht ganz scharf und präzise herausgekommen, so wird es sich empfehlen, nach einigen Tagen die Untersuchung zu wiederholen, denn nicht selten geben mit Kot gefüllte Darmschlingen zu zweifelhaften Befunden Veranlassung. Solche Kotballen können namentlich, wenn es sich um dicke Leute handelt, ein Konkrement vortäuschen. Findet man bei der nach einigen Tagen wiederholten Untersuchung diese zweifelhaften Schatten nicht, so kann man getrost seine Diagnose im negativen Sinne unter den noch zu besprechenden Kautelen stellen. Oft markiert sich eine Darmschlinge, welche mit Kot gefüllt ist, in ausgedehntem Verlauf, namentlich, wenn Gasmengen in dem Darmrohr enthalten sind. Man wird bei einiger Übung dahin kommen, diese Schatten auf ihre richtige Ursache zurückzuführen. Es ist erforderlich, um nicht Täuschungen durch Darminhalt ausgesetzt zu sein, wie schon oben gesagt, dafür zu sorgen, daß die Patienten, bevor sie zur Untersuchung kommen, ihren Darm gründlich mittels Abführmittel und Einlauf entleeren.

Der Chirurg soll sich nicht allein durch die Röntgenuntersuchung leiten lassen, er muß vielmehr auch die übrigen klinischen Methoden zu Rate ziehen und darf erst unter Berücksichtigung sämtlicher Ergebnisse einen eventuellen chirurgischen Eingriff vornehmen.

Auch für den Röntgenologen kommen die klinischen Untersuchungsmethoden sehr wesentlich mit in Betracht. Wenn beispielsweise in einem Fall von Nierensteinverdacht die Röntgenplatte negativ ausfällt und trotzdem Blut im Harn gefunden wird, so kann man sich mit dem Ergebnis der Röntgenuntersuchung ohne weiteres nicht zufrieden geben, sondern man wird durch Wiederholung der Aufnahme feststellen müssen, ob dauernd Nierensteinschatten auf den Platten fehlen. Es ist überhaupt nicht angezeigt, sein Urteil auf dem Ergebnis einer einzigen Untersuchung aufzubauen, da es genügend Fehlerquellen gibt, welche auch dem geübten Untersucher verhängnisvoll werden können.

Ich lasse von fast jedem Patienten, welcher zur Nierensteinuntersuchung kommt, eine Sedimentuntersuchung der sedimentierten und dann zentrifugierten 24stündigen Harnmenge vornehmen. Der

mikroskopische Nachweis einiger roter Blutkörperchen oder Blutkörperchenschatten gibt einen wertvollen Fingerzeig für die Diagnose. Desgleichen ist anzuraten, die Gefrierpunktbestimmung, sowie in geeigneten Fällen den Harnleiterkatheterismus hinzuzuziehen. Die Sondierung des Ureters kann indessen, obwohl in ihm ein oder mehrere Steine vorhanden sind, unter Umständen glatt, und ohne daß man auf ein Hindernis stößt, vonstatten gehen. Ich verfüge über mehrere derartige Fälle, in denen die Sondierung bei positivem Röntgenbefund negativ ausfiel.

Urinbefund

Harnleiterkatheterismus

Wenn der positive Blutbefund auch wesentlich zugunsten von Steinen spricht, so darf man doch nicht vergessen, daß auch eine beginnende Nierentuberkulose, chron. hämorrh. Nephritis, intermittierende Hydro- und Pyonephrose oder Tumor vorliegen kann[1]), und daß ferner Fälle von Nierenblutungen vorkommen, ohne daß man einen klinischen Befund zu erheben imstande ist. Diese Blutungen verschwinden nach einiger Zeit wieder vollständig.

Blut im Urin

Auch die essentielle Nierenblutung, die als eine der Hämophilie verwandte Affektion aufgefaßt wird, kann vorliegen. Solche Fälle habe ich bisweilen zu beobachten Gelegenheit gehabt.

Bei einem Kinde wurde wegen dauernder Nierenblutungen eine Röntgenuntersuchung mit negativem Erfolg vorgenommen. Es wurde trotzdem operiert, aber kein Stein oder sonstiger pathologischer Befund festgestellt. Ein aus der Niere exzidiertes Stückchen zeigte mikroskopisch normale Verhältnisse.

Auch äußere Traumen, Kontusionen oder dergleichen können zu Nierenblutungen Anlaß geben.

Bei einem mir zur Nierensteinuntersuchung überwiesenen jungen Manne fand sich kein Konkrement, wohl aber eine Fraktur der 12. Rippe. Das Blut verschwand nach wenigen Tagen.

Ein Postbeamter wurde in der Eisenbahn, während er im Postwagen Briefe sortierte, durch einen Ruck des Zuges mit der Nierengegend gegen eine Tischecke geschleudert. Die, wegen bald darauf eintretender Nierenblutung vorgenommene Steinuntersuchung fiel natürlich negativ aus.

Bei der nach vier Jahren vorgenommenen Obduktion fanden sich Cystennieren beiderseits und chronische Pyelitis.

---

[1]) Martens berichtet über einen Fall von linksseitigen Kolikanfällen, periodischen Blutungen und hohem Fieber bei einer Patientin mit chronischer Nephritis. Da die Schmerzen stets nur links bestanden, so wurde an die Möglichkeit gedacht, daß es sich um Steine handeln könnte. Die Freilegung und Spaltung der Niere und die Sondierung des Harnleiters ergaben das Fehlen eines Steines. Dagegen fand sich, auch mikroskopisch bestätigt, paren. Nephritis. Vor der Operation hatte die Patientin in einem halben Jahre 12mal periodische Fieberanfälle und schmerzhafte Koliken überstanden. $2^1/_4$ Jahr nach der Operation hat sie etwa noch 4—5 Anfälle gehabt. (Deutsche medizinische Wochenschrift 1904. Nr. 45 Freie Vereinigung der Chirurgen, Berlin 11. Juli 1904.)

Die Nierensteindiagnose mittels des Leuchtschirmes hat keine Bedeutung. Ich sah allerdings in einigen Fällen, in denen es sich um größere Konkremente handelte, diese bei enger Abblendung außerordentlich deutlich auf dem Schirm. Die Patienten waren indessen sämtlich mager.

Wie aus dem vorstehenden ersichtlich ist, gehören die Nierensteinuntersuchungen zu denjenigen Aufgaben der Röntgenographie, welche an die Zeit und Geduld des Arztes bei weitem die größten Anforderungen stellen. Man muß daher von vornherein den Patienten darauf hinweisen, daß eine Nierensteinuntersuchung ein größeres, vor allen Dingen zeitraubendes Unternehmen ist, da man im allgemeinen erst jede Platte fertig entwickeln wird, bevor man an die nächste Aufnahme herangeht. Es ist erforderlich, mindestens eine Stunde für eine doppelseitige, komplette Untersuchung zu reservieren. Nicht selten wird es nötig werden, wegen zweifelhafter Resultate eine nochmalige Sitzung an einem anderen Tage stattfinden zu lassen. Es ist unzweckmäßig, die Kranken zu untersuchen, ohne sie vorher auf diese Tatsachen aufmerksam gemacht zu haben, denn der Arzt wird mit sehr viel mehr Ruhe an die mühsame Arbeit herangehen, wenn er sicher ist, daß der vorher richtig instruierte Patient nicht ungeduldig wird. Um die Situation vollständig in jeder Beziehung, sowohl vom klinischen, wie vom röntgenographischen Standpunkte aus zu überblicken und statistisches Material zu sammeln, empfehle ich die Anlage von Zählkarten unter Benutzung des nebenstehenden Schema. Es enthält alle diejenigen Punkte vorgedruckt, welche von Bedeutung sind, so daß das Übersehen wichtiger Momente in der Anamnese vermieden wird. Es ist nötig auch etwaiger Blinddarmentzündungen Rechnung zu tragen, da es nicht selten vorkommt, daß unbestimmte, ziehende Schmerzen in der rechten Seite fälschlich auf Nieren- oder Harnleiterstein bezogen werden, während in Wirklickeit die Beschwerden auf eine Appendicitis zurückzuführen sind.

Zählkarten

Wie wichtig in solchen Fällen eine negativ ausfallende Röntgenuntersuchung sein kann, lehrt das Schicksal eines hervorragenden Chirurgen, der seine vom Appendix ausgehenden Schmerzen stets auf Steine zurückbezogen hatte. Vielleicht hätte man ihn vor der Perforationsperitonitis, welcher er erlag, durch Ausschluß von Nierensteinen mittels der Röntgenaufnahme bewahren können.

Appendizitis

Ist die Diagnose auf Nierensteine in einem Falle, welcher einen deutlichen und klaren Befund auf der Platte ergeben hat, gestellt, so kann man getrost die Verantwortung für eine Operation auf sich nehmen, da unter allen Umständen die Steine gefunden

Untersuchung auf Nierensteine.

Zählkarte Nr. 19........ Datum:

Name: ....

Alter: ....

Heredität: ....

Blinddarmentzündung: ....

dumpfer Schmerz r:
l:

Kolikanfälle: ....

wie oft? ....

Kollaps. Erbrechen. Schüttelfrost. Fieber. Hoden. Nebenhoden. Glans. Oberschenkel. Blase. Seitenlage.

....

....

Körperbeschaffenheit: ....

Umfang des Leibes (über dem Nabel gemessen): ....

Urin: Menge: Strahl:

Reaktion: Spez. Gew.

Ziegelmehlsediment .... Grieß ....

Abgang von Steinen ....

.... $^0/_{00}$ Eßbach. .... Blut, mikroskopisch im zentrifugierten Sediment der 24stündigen Harnmenge. .... Eiter. .... Nierenbeckenepithelien. .... Zylinder. .... Urate .... freie Harnsäure. .... Gefrierpunkt.

Röntgenuntersuchung:		I.	II.	III. Untersuchg.
Übersichtsaufnahme: mit großem Zylinder 19 cm	Abstand:	....	....	....
	Exposition:	....	....	....
	Röhre:	....	....	....
	Ergebnis:	....	....	....
Kompressionsblendenaufnahme:		....	....	....
Operationsresultat:				
Verlauf:				

werden müssen. Es ist indessen wichtig zu wissen, daß es nicht genügt, eine Niere, welche bei der Operation freigelegt ist, zu palpieren und nach dem Ausfall der Palpation das Vorhandensein oder das Fehlen von Steinen festzustellen, denn, wie ich mehrfach zu konstatieren Gelegenheit hatte, konnte in Fällen, in welchen es sich um einen fast kirschgroßen Phosphatstein handelte, bei der Palpation nichts gefühlt werden. Erst nachdem die Niere gespalten worden war, zeigte sich, daß die Platte, welche den Steinschatten gezeigt hatte, recht behielt.

Palpation der freigelegten Niere

In Fällen, welche zweifelhaft sind, ist es sehr mißlich, die Verantwortung für eine Operation auf sich zu nehmen, da man sich unter allen Umständen in Mißkredit bringt, wenn man einen Stein, der später nicht gefunden wird, diagnostiziert. In solchen Fällen muß das Hauptgewicht für die Operationsindikation auf die klinischen, resp. chemischen Untersuchungsergebnisse gelegt werden, wobei der Röntgenbefund als Ergänzung zu verwerten ist.

Sind die Platten negativ ausgefallen, d. h. sind beim genauesten Betrachten, auf Konkremente bezügliche Schatten nicht zu sehen, so kann man sich dahin aussprechen, daß größere Steine von der chemischen Zusammensetzung der Phosphat- und Oxalatsteine mit Sicherheit nicht vorhanden sind, daß dagegen eventuell chemisch reine Harnsäurekonkremente anwesend sein können. Ferner können auch bei negativem Befunde kleine *unter erbsengroße* Phosphat und Oxalatsteine vorhanden sein. Konkremente von diesen Größen markieren sich in vielen Fällen, namentlich bei korpulenten Personen nicht (vgl. Seite 475. Kleinste nachgewiesene Steine).

Die Steinuntersuchung mittels Röntgenstrahlen findet vorwiegend ihre Aufgabe darin, die Entscheidung zu liefern, ob ein vorhandenes Konkrement bereits eine derartige Größe erreicht hat, daß es den Harnleiter nicht mehr spontan zu passieren imstande ist.

Größte spontan abgehende Steine

Ich habe einen Stein von 2 cm Länge, 1 cm Breite und 8 mm Dicke den Ureter und die Harnröhre passieren sehen.

Ich beobachte ferner seit Jahren einen Patienten mit mehreren großen Konkrementen in den Nierenkelchen und einem solchen im Nierenbecken. Letzteres hatte einen deutlich ausgesprochenen Sporn. Bei einer Nachuntersuchung war der Stein aus dem Nierenbecken verschwunden und befand sich dicht oberhalb der Eintrittsstelle des Harnleiters in die Blase. Er hatte auf der Platte gemessen bei einer Länge von ca. 4—4 $^1/_3$ cm, einen Durchmesser von 1$^1/_3$ cm an seiner dicksten Stelle. Nach mehrfachen Koliken trat der Stein in die Blase und wurde hier zertrümmert und entfernt. Meines Wissens ist ein größerer Stein auf seinem Wege durch den Harnleiter bisher nicht beobachtet worden.

Wir sehen also aus dem vorstehenden, daß die Röntgendiagnose der Nierensteine eine nur teilweise Selbständigkeit beanspruchende Methode ist. Es ist deshalb außerordentlich unangebracht, die therapeutischen Maßnahmen einzig oder in erster Linie auf den Röntgenbefund zu basieren. Ihm kommt nur ein die übrigen klinischen Methoden ergänzender Wert zu. Letzterer ist indessen nicht zu unterschätzen und von solcher Bedeutung, daß man es nicht unterlassen sollte, jeden niernsteinverdächtigen Patienten der Röntgenuntersuchung zu unterziehen. Diejenigen Fälle, in welchen die Diagnose sofort und unzweideutig im positiven Sinne gestellt werden kann, sind natürlich für den Untersucher die dankbarsten, jedoch dürfen Erfolge in dieser Richtung nicht zu der Annahme verleiten, daß stets und bei allen Kranken die Untersuchung ein sicheres Ergebnis zeitigt.

Zusammenfassung

III. Ureterensteine.

Ureterensteine

Die Technik des Ureterensteinnachweises ist bereits bei der Besprechung der *III. typischen Stellung* abgehandelt worden. Die Ergebnisse sind wesentlich bessere, als bei der Nierensteinaufnahme, da infolge der für die Röntgenuntersuchung anatomisch besonders günstigen Lage, selbst sehr kleine Konkremente sich deutlich markieren.

Dicht oberhalb des Eintrittes des Harnleiters in die Blase pflegen sich die Steine meist festzusetzen. Sie sind hier oft derartig tief in die Schleimhaut eingebettet, daß sie bei der Operation geradezu herausgeschält werden müssen. Bei der Untersuchung ist daher dieser Gegend besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Röntgenographie ist meines Erachtens zum Nachweis hier liegender Steine den anderen diagnostischen Methoden weit überlegen. Wenig Verlaß ist auf die Sondierung der Ureteren, da selbst bei solchen Steinen, welche man mit der Hand z. B. per vaginam palpieren kann, die Sonde glatt und ohne auf ein Hindernis zu stoßen, bisweilen vorbeigleitet. Sogar bei Operationen können röntgenographisch nachgewiesene Steine unter Umständen nicht gefunden werden, wie folgender Fall zeigt:

Bei einem Herrn fand ich einen sehr scharfen, kantigen Stein im Beckenteile des Ureters bei vielen Untersuchungen stets an gleicher Stelle. Der Patient ging nach Berlin und ließ sich dort operieren. Bei der Operation wurde der Stein nicht gefunden und ein Irrtum in der Röntgendiagnose angenommen. Ca. 8 Tage nach der Operation entleerte der Patient das Konkrement; bei der Nachuntersuchung fand sich natürlich im Harnleiter nichts.

In diesem Falle war der Stein durch die Manipulation der Operation aus dem Harnleiter herausmassiert worden. Der Fall beweist die Exaktheit der Röntgenaufnahme.

Liegen die Ureterensteine lange Zeit im Harnleiter, dann erweitert sich sein zentrales Ende bis hinein in das Nierenbecken. In diesem erweiterten Stück können bisweilen die Steine vorübergehend wieder in die Höhe steigen.

Spontane Bewegungen von Ureterensteinen

Patientin C. hatte seit Jahren fünf perlschnurartig aufgereiht liegende Ureterensteine. Wegen andauernder Schmerzen und Blutungen wurde ihre Entfernung versucht. Bei der Operation (Kümmell) wurden etwa 5 cm des Harnleiters oberhalb der Blase freigelegt, aber keine Steine, mit Ausnahme eines kleinen Konkrements, gefunden. Nach der Operation stellte sich durch eine neue Röntgenaufnahme heraus, daß wiederum drei Steine hintereinander im Ureter lagen. Eine Röntgenographie mit eingelegter Ureterensonde zeigte, daß die letztere noch über die Steine hinausragte. Auch bei der Palpation wurden zwei Steine palpiert, welche deutlich ein schabendes und aneinander reibendes Gefühl hervorriefen. Während der Palpation verschwand der eine Stein nach oben. Bei einer abermaligen Nierensteinuntersuchung wurde nun die merkwürdige Tatsache konstatiert, daß im Harnleiter nur ein Stein lag, während in der Nierengegend zwei Steine nachgewiesen wurden. Auf den ersten Blick schien es, als ob sich in der Niere zwei neue Steine gebildet hätten. Da nun aber kein Stein inzwischen abgegangen war, so muß man den eigentümlichen Befund so erklären, daß höchstwahrscheinlich eine erhebliche Erweiterung des Harnleiters vorlag, und daß die Steine hoch hinauf bis an die Niere oder vielleicht bis in das Nierenbecken hinein sich verschieben konnten. Die Patientin ging später nach Karlsbad und verlor dort gelegentlich einer plötzlich einsetzenden Kolik sämtliche Steine, die per vias naturales abgingen.

Fehlerquellen

Die Fehlerquellen, welche bei der Untersuchung auf Harnleiter- oder Blasensteine Veranlassung zu Fehldiagnosen geben können, und welche dadurch zu verhängnisvollen Irrtümern in der Wahl des therapeutischen Eingriffs führen, sind zahlreiche und sollen hier gemeinsam abgehandelt werden. Die Verhältnisse liegen gerade bei den Untersuchungen im Becken besonders ungünstig, da hier eine Reihe von kalkhaltigen Gebilden vorkommt, welche die von mir „Beckenflecken“ genannten Schatten auf den Platten hervorbringen und somit zur irrtümlichen Annahme von Harnleiter- oder auch Blasensteinen verleiten können. Von kalkhaltigen Gebilden haben wir folgende Gruppen zu unterscheiden:

1. Harnleitersteine,
2. Harnleiter- und Blasendivertikelsteine (Albers-Schönberg),
3. Blasensteine,
4. Prostatasteine (Albers-Schönberg, Forssell),
5. Verkalkte Myome (Albers-Schönberg),
6. Extrauteringraviditäten (Sjögren),

7. Verkalkte Mesenterialdrüsen, verkalkte retroperitoneale Drüsen (Voeckler),
8. Dermoidcysten,
9. Mediaverkalkungen der Iliaca (Albers-Schönberg), oder der Aorta an der Teilungsstelle der Bauchaorta (Fenwick), Verkalkungen der Vasa deferentia (Fraenkel),
10. Verkalkungen der Uterinalgefäße (Fraenkel),
11. perforierte Kotsteine (Albers-Schönberg),
12. Steine im Proc. vermiformis (Matthias, Weisflog, Fittich),
13. Wismutingesta im Magen oder Darm und Jodipininjektionen (Albers-Schönberg) in der Muskulatur,
14. Phlebolithen (Albers-Schönberg u. Fraenkel),
15. Spina ischii-Anlagerungen (Stieda),
16. Exostosen am Darmbein (Köhler),
17. Einlagerungen in die Ligamenta sacro-iliaca (Béclère),
18. Bursensteine (Robinsohn),
19. Verkalkungen der tuberkulösen Blasenschleimhaut (Forssell).

Haenisch hat in seiner Monographie (l. c.) noch einige seltene Beobachtungen zusammengetragen, deren Kenntnis für die Uretersteindiagnose von Wert sein dürfte, und die ich hier mit fortlaufender Nummer anreihen will:

20. Kompactainsel in der Darmbeinschaufel (Haenisch),
21. Sesambein in den Sehnen der Musculi obturatorii (Caldwell),
22. Verkalkte Appendix epiploica (Brewer),
23. Zusammengeballter Gries (König),
24. Verkalkte Blutgerinsel in einer karzinomatösen Niere (Groszlik),
25. Derbe Warzen in den Hautdecken (Haenisch),
26. Nicht aufgelöste Blaudsche Pille (Haenisch).

Die Differenzialdiagnose der durch die vorgenannten Gruppen hervorgebrachten Schatten ist in vielen Fällen sehr schwer zu stellen. Es ist selbstverständlich, daß man zunächt nach den üblichen Methoden der klinischen Untersuchung verfährt und den Versuch macht, auf diesem Wege über die Natur der Schatten ins klare zu kommen. Hierdurch erspart man sich bei der Beurteilung der Platten viele Mühe und gelangt wohl in den meisten Fällen zu einem einwandfreien, diagnostischen Resultat. Gibt dagegen die klinische Untersuchung nicht genügend Anhaltspunkte, so muß der Versuch gemacht werden, durch genaue Plattenkritik die Differenzialdiagnose zu stellen. Im folgenden sollen die hauptsächlichen im Becken vorkommenden Schatten, sowie die zu ihrer Unterscheidung dienenden Merkmale besprochen werden.

Ureterensteine

1. Ureterensteine sind in ihrer Lage sehr wechselnd, da der Verlauf des Harnleiters kein absolut konstanter ist. Er scheint beim Manne mehr median über die Foramina sacralia zu laufen. Infolgedessen kommen Ureterensteine beim Manne häufiger in unmittelbarer Nähe oder auf dem Kreuzbeinschatten selber zu Gesicht, in letzterem Falle können sie mit Compacta-Inseln im Kreuzbein verwechselt werden. Bei der Frau läuft der Harnleiter mehr nach auswärts, was eine laterale Lage der Harnleitersteine bedingt. Es ist jedoch diese bei den Geschlechtern verschiedene Lokalisation nur als eine bedingt gültige anzusprechen, da die Ausnahmen von der beschriebenen Lage zahlreiche sind. Immerhin kann man sich im großen und ganzen nach den erwähnten Merkmalen orientieren. Die Form der Harnleitersteine ist selten kreisrund, in den meisten Fällen sind diese Konkremente oval oder zackig, wodurch das Einklemmen im Harnleiter bedingt werden kann.

Ureterendivertikelsteine

2. Die Ureterendivertikelsteine werden sich wohl nur selten von Harnleitersteinen unterscheiden lassen. Im allgemeinen kann man als Regel annehmen, daß dieselben mehr lateral als die Harnleitersteine und höher als die Blasensteine liegen.

Blasensteine

3. Die Lage der Blasensteine ist ebenfalls keine konstante. Man sieht sie meistens dicht unter oder seitlich vom Steißbein. In vielen Fällen kommen sie indessen bedeutend weiter nach außen vor und zwar in Teilen des Beckens, welche man bereits als außerhalb der Blase liegend anzunehmen gewohnt ist. Es braucht an dieser Stelle nur kurz erwähnt zu werden, daß viele Blasensteine sich überhaupt dem Nachweis durch Röntgenstrahlen entziehen und daß immerhin schon eine erhebliche Größe der Konkremente erforderlich ist, um auf der Platte Schatten zu geben.

Prostatasteine

4. Die Prostatasteine sind verhältnismäßig selten. Ich verfüge nur über drei Fälle, bei dem einen lagen die Konkremente seitlich vom Steißbeinschatten, und zwar quer zu demselben. Diese Schatten wurden von mir zuerst als Blasensteine diagnostiziert, mehrfache Untersuchungen der Blase erbrachten jedoch den strikten Beweis, daß sie frei von Steinen sei. Nach dem ganzen klinischen Bilde konnten nunmehr nur Prostatasteine angenommen werden. Die anderen beiden Fälle zeigten die von Forssell beschriebene charakteristische Anhäufung kleiner Partikel in der Gegend der Symphyse.

Verkalkte Myome

5. Verkalkte Myome können zu schwerwiegenden Irrtümern Veranlassung geben, da ihre Schatten in allen Teilen des Beckens vorkommen können. Auch läßt sich über die Größe und Form der Kalkeinlagerungen, da diese außerordentlich variieren, nichts Bestimmtes aussagen. Ich verfüge über einen Fall, in welchem ein verkalktes Myom einem Blasenstein nach Lage und Form außer-

ordentlich ähnlich war. Auf derselben Platte fanden sich ferner noch mehrere reihenweis angeordnete Schatten, die hintereinander liegenden Harnleitersteinen absolut glichen. Die Palpation ermöglichte hier die Differenzialdiagnose.

6. Extrauteringraviditäten werden wohl in den meisten Fällen als solche erkannt werden. Die durch die kindlichen Knochen hervorgebrachten Schatten sind wesentlich zarter als die Steinschatten und haben auch andere Formen wie die letzteren. In den meisten Fällen lassen sich Extremitäten oder Wirbelkonturen erkennen. Das Gleiche gilt von sog. Steinkindern, welche allein schon durch ihre Größe jeden Zweifel ausschließen lassen. **Extrauteringravidität**

7. Auf verkalkte Mesenterialdrüsen ist schon oft hingewiesen worden. Um Irrtümern zu entgehen, hat man besonders auf die Form ihrer Schatten zu achten. Sie sind im Gegensatz zu Steinschatten nicht scharfrandig, sondern haben leicht gewellte oder gezackte, den acinösen Bau markierende Ränder, auch ist die anatomische Lage eine abweichende, wenngleich sie natürlich auch einmal in der Uretergegend auftreten können. Verkalkte retroperitoneale Drüsen wurden zuerst von Voeckler beschrieben. **Verkalkte mesenteriale und retroperitoneale Drüsen**

8. Wie sich die Dermoidcysten auf der Röntgenplatte verhalten, kann ich nicht entscheiden, da mir bislang ein solcher Fall nicht vorgekommen ist. Handelt es sich um Cysten, welche Zähne enthalten, so dürften Verwechslungen mit Konkrementbildungeu durchaus im Bereich der Möglichkeit liegen. **Dermoydcysten**

9. Verkalkungen der Iliaca, der Teilungsstelle der Bauchaorta und die seltenen von Fraenkel beschriebenen Verkalkungen der Vasa deferentia, namentlich wenn sie einseitig auftreten, könnten eventuell zu Verwechslungen mit Harnleiterkonkrementen Veranlassung geben. Die verkalkte Iliaca verläuft im Röntgenbilde von der Austrittsstelle der Synchondrosis sacro-iliaca oder auch weiter median in leichtem Bogen zur Spina ischii. Der Ureter dagegen wendet sich nicht nach dem letztgenannten Knochenpunkt, sondern zieht gerade nach unten zur Blase. In Fällen von Verkalkungen der Iliaca wird man in den allermeisten Fällen keine punktförmigen Flecke finden, sondern man wird das Gefäß als Ganzes erkennen. **Iliaca- und Aorta-Verkalkung** **Vas deferens-Verkalkung**

10. Auch die Verkalkungen der Uterinalgefäße können event. Schatten im Becken hervorbringen. Diese Verkalkungen treten, wie Fraenkel gezeigt hat, außerordentlich umfangreich auf. **Verkalkung der Uterinalgefäße**

11. Die Kotsteine werden selten Irrtümer veranlassen, da man sie meist außerhalb des Beckens anzutreffen pflegt. Ihre Schatten sind dadurch charakterisiert, daß sie von einer dunkleren Partie, welche durch Gasansammlungen bedingt ist, umgeben sind. Außerdem sind sie viel schwächer und diffuser als Steinschatten. **Kotsteine**

Appendixsteine

12. Gelegentlich sind Steine im Wurmfortsatz auf der Platte gefunden worden (Matthias, Weisflog, Fittig). Diese können natürlich sehr leicht zu Verwechslungen Anlaß geben, da ihre Konturen, wie die der Nierenkonkremente, scharfrandig sein werden. Außer ihrer anatomischen Lage lateral an der Crista ilei und dem klinischen Befunde, wird man keine differentialdiagnostischen Merkmale aufstellen können. Jeder beschäftigte Röntgenologe wird beobachtet haben, daß eine nennenswerte Anzahl verkannter Appendizitiden unter dem Verdacht des Harnleitersteines zur Röntgenuntersuchung kommt. Gerade bei diesen Fällen erinnere man sich stets des Vorkommens von röntgenologisch nachweisbaren Steinen im Wurmfortsatz.

Wismut, Jodipin

13. Wismut, welches zu therapeutischen oder diagnostischen Zwecken den Patienten per os oder rectum eingeführt worden ist, kann leicht zu Irrtümern, die sich indessen durch eine genaue Anamnese vermeiden lassen, führen. Ebenfalls können Jodipininjektionen, die noch nach Jahrzehnten deutlich nachweisbar sind, zu Verwechslungen Anlaß geben. Diese Injektionsresiduen haben indessen ein so typisches Aussehen und sind meist entsprechend den Muskelzügen angeordnet, daß man sie kaum mißdeuten kann.

Phlebolithen

14. Die Phlebolithen sind diejenige Gruppe von Körpern, welche von jeher am meisten mit Steinen verwechselt worden sind. Wohl jeder Untersucher, welcher sich mit der Röntgendiagnostik der Harnleitersteine befaßt hat, wird häufig diese eigenartigen Schatten, welche ich mit dem Namen „Beckenflecken“ bezeichnet habe, bemerkt haben. Anfangs wurden sie allgemein verkannt und als Harnleitersteine angesprochen, ja sogar Operationen sind auf Grund dieser Befunde vorgenommen worden. Bald änderte sich indessen die Ansicht, da die Schatten in einer außerordentlich großen Anzahl von Fällen, bei welchen jeder Steinverdacht ausgeschlossen war, gefunden wurden. Wenn man auch keine sichere Erklärung für dieselben wußte, so wurde es doch klar, daß sie mit Harnleitersteinen nichts zu schaffen hatten. Die Sicherheit der Ureterensteindiagnose erlitt hierdurch einen erheblichen Stoß, und es wurde die Forderung aufgestellt, daß in allen zweifelhaften Fällen durch Sondierung des Harnleiters die Natur der Flecke und ihre Lage klargestellt werden müsse.

Was zunächst die Lage der bei Männern und Frauen, ja sogar bei jüngeren Mädchen (ich sah einen typischen Fall bei einer 25jährigen) vorkommenden Phlebolithenschatten angeht, so ist dieselbe eine außerordentlich verschiedene. Man findet sie z. B. genau an der Stelle des Harnleiters. Sie sind hier reihenweise gelagert und treten in größerer Anzahl auf. Aber auch gruppenförmige Anordnungen



Fig. 1.

Fig. 2.

sieht man in dieser Gegend, und ganz besonders häufen sie sich um die Spina ichii herum. Die Schatten decken sich sogar bisweilen mit der Spina ischii. Auch über dem Kreuzbeinschatten, dicht oberhalb des Steißbeines, konnte ich diese Flecken konstatieren. Bisweilen sieht man sie oberhalb des horizontalen Schambeinastes (siehe Tafel X, Fig. 1). Bei tiefer Röhreneinstellung, wie z. B. bei Hüftgelenkaufnahmen, pflegen die Schatten sich mit dem horizontalen Schambeinast zu decken oder im Foramen obturator. aufzutreten. Ich verfüge über Platten, welche gleichzeitig Harnleiterstein- und Phlebolithenschatten zeigen. Diese Aufnahmen sind sehr instruktiv für die oben beschriebene anatomische Lokalisierung, sowie für den Verlauf des Harnleiters. Die unmittelbar vor der Spina ischii liegenden Phlebolithenschatten haben schon häufig zu Verwechslungen mit dem Spina ischii-Fleck geführt. Die Form der Schatten ist meist kugelrund, bisweilen länglich, äußerst selten zeigen sie unscharfe Konturen. Ihre Größe wechselt zwischen Erbsen- und Streichholzkopfgröße.

Je älter der Patient, desto größer der Phlebolith (Forssell). Die Konturen sind stets außerordentlich scharfrandig, wodurch sie sich von den weniger scharfrandigen Harnleitersteinen unterscheiden. Sehr selten tragen sie einen kleinen Fortsatz. Bei genauem Zusehen erkennt man an den größeren Flecken einen dunkleren Kern, was auf die von Fraenkel beobachtete Schichtung schließen läßt. Die Zahl der Phlebolithen variiert sehr. Ich habe bis zu zwölf dieser Schatten zu einer größeren Gruppe vereinigt gesehen. Als Erklärung für diese Flecken hat man schon seit längerer Zeit, wie schon der Name sagt, Phlebolithen angesprochen, ohne indessen die Richtigkeit dieser Annahme beweisen zu können. Neuere von Fraenkel vorgenommene Untersuchungen haben nun mit Sicherheit ergeben, daß es sich bei Frauen in der Tat um Venensteine handelt. Fraenkel nahm aus einer größeren Anzahl von weiblichen Leichen den Uterus und seine Adnexe heraus und ließ Röntgenaufnahmen von denselben machen. Die in natura so oft beobachteten, soeben charakterisierten Beckenflecken zeigten sich, was Lage, Anzahl und Struktur angeht, deutlich auf den Platten. Besonders schön waren auf ihnen auch die geschlängelten, verkalkten Uterinalgefäße zu erkennen. Auch die Schichtung der Phlebolithen ließ sich an den größeren und sogar an den kleineren Exemplaren außerordentlich gut studieren. Guttenberg hat auf der 72. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in einem Vortrag über perineuritische Erkrankungen des Plexus sacralis auf Thrombosen in diesem Gebiete hingewiesen. Es ist sehr wohl möglich, daß dieselben mit den sogenannten Phlebolithenschatten in ursächlichem Zusammenhange stehen.

Spina ischii-Fleck

15. Es erübrigt, daß ich noch mit wenig Worten auf den Spina ischii-Fleck zu sprechen komme. Anfangs wollte Stieda alle Beckenflecken durch rundliche, durch Bindegewebe von der Spina getrennte Fortsätze erklären. In vielen Fällen kommen in der Tat diese Fortsätze vor, sie sind indessen von den echten Phlebolithenflecken sehr leicht zu unterscheiden. Was ihre Form angeht, so sind sie nicht rund oder oval, sondern mehr unregelmäßig geformt. Sie liegen meist am oberen Rande des Endes der Spina, bisweilen lagern sie sich schalenförmig an die letztere an. Sie sind niemals kompakt, sondern zeigen beim genauen Zusehen gleiche Struktur wie die Spina selbst. In den meisten Fällen pflegen sie einseitig aufzutreten, jedoch beobachtet man sie auch hin und wieder an beiden Seiten. Ich habe bei demselben Individuum den Stiedaschen Fleck und Phlebolithen gefunden.

Darmbein-exostosen

16. Eine seltenere Gelegenheit zur Fehldiagnose wird durch Exostosen am Darmbein, wie Koehler geschrieben hat, gegeben. In den meisten Fällen wird es wohl gelingen, durch mehrfache Aufnahmen den Zusammenhang der Exostose mit dem Skelettknochen nachzuweisen.

Lig. sacroiliaca-Einlagerung

17. Es wäre schließlich zu erwähnen, daß Béclère für die Erklärung der Beckenflecken Einlagerungen in die Ligamenta sacroiliaca herangezogen hat. Bislang sind indessen für das Vorhandensein derselben keine Beweise erbracht worden.

Bursensteine

18. Robinsohn hält die Beckenflecken für Bursensteine, d. h. für verkalkte degenerierte Schleimbeutelzotten der Bursa musc. obturator. und der Bursa musc. glutaei, deren Zusammentreffen mit der Ischias er für erwiesen hält. Sie sollen mit den mit dieser Krankheit verbundenen Beckenschleimbeutelerkrankungen im Zusammenhang stehen. Nach meinen Erfahrungen kann ich Robinsohn nicht zustimmen. Es mag bisweilen die Koinzidenz vorhanden sein, in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle ist sie es jedenfalls nicht. Die Phlebolithen sind so häufig, daß man bei exakter Technik fast bei jedem dritten älteren Individuum die bekannten Schatten findet. Goldammer fand unter 17 Beobachtungen keinen Fall, in welchem Ischias festgestellt werden konnte. In zwei Fällen dagegen konnte der Nachweis, daß es sich um Phlebolithen handelte, operativ erbracht werden.

Verkalkung der tuberk. Blasen-schleimhaut

19. Auf Verkalkungen der tuberkulösen Blasenschleimhaut wies Forssell hin.

Betreffs der von Haenisch publizierten 7 weiteren Fehlerquellen 20—26 verweise ich auf seine Monographie „*Röntgendiagnostik des uropoëtischen Systems*", dort sind auch noch einige interessante event. zur fälschlichen Diagnose eines Nierensteins führende Befunde mitgeteilt.

Es ergibt sich aus der Besprechung der vorliegenden Gruppen

von Konkrementschatten, daß die siehere Stellung der Diagnose auf Harnleitersteine unter Umständen reeht sehwer sein kann. Ich empfehle daher in allen zweifelhaften Fällen, namentlieh in solehen, bei welehen es sieh um Operationen handelt, außer der Vornahme sämtlieher klinischer und ehemiseher Untersuehungen, den Harnleiterkatheterismus mit in den Katheter eingelegtem Eisendraht und nachfolgender Röntgenographie zu maehen. Wenn es aueh hierbei zu Irrtümern kommen kann, da sieh sehr wohl unter Umständen ein Phlebolith mit der Sonde decken könnte, so ist doch immerhin eine beträehtliehe Sieherheit für die Diagnosenstellung gewährleistet.

Katheterismus des Harnleiters

Die praktisehe Nutzanwendung aus diesen Beobaehtungen ist jedenfalls die, daß die Harnleitersteindiagnose sehr unsicher geworden ist, da die durch Phlebolithen oder andere noch nicht erkannte Konkremente bedingten Schatten, die Stellung einer exakten Diagnose wesentlich ersehweren. Handelt es sieh um Fälle, bei welehen man operativ vorzugehen beabsichtigt, so genügt die Plattendiagnose in sehr vielen Fällen nieht. Man wird in Zukunft verlangen müssen, daß außer den übliehen Aufnahmen stets solehe mit eingeführtem Harnleiterkatheter gemacht werden. Die Teehnik des Röntgenographen wird hierdurch nicht ersehwert. Allerdings ist für den Patienten die Untersuchung alsdann nicht mehr so harmlos wie früher ohne die Sondierung der Harnleiter. Wenn indessen die Frage der Operation zur Entscheidung steht, so muß man auf der Vornahme dieser Art der Untersuchung dennoeh im Interesse des Patienten bestehen. Es ist indessen zuzugeben, daß auch mit eingeführtem Harnleiterkatheter noeh ein Irrtum möglieh ist, da sehr wohl der Katheterschatten sich mit dem Steinschatten decken kann, ohne daß letzterer wirklich im Harnleiter liegt. Immerhin werden solche Irrtümer wohl selten vorkommen, da man in der Lage ist, sie dureh Vornahme einer stereoskopischen Beekenaufnahme sicher auszuschalten.

Zur Erläuterung des Gesagten möge der folgende Fall (s. Tafel X, Fig. 2) dienen, in welchem dureh den eingeführten Harnleiterkatheter bewiesen wurde, daß der gesehene Sehatten wirklich ein Harnleiterstein sei. Man erkennt das eingeführte Cystoskop, in dessen oberen Ende auf der Originalplatte sehwach angedeutet, das ovale Fenster, in welehem die Glühlampe sieh befindet, zu sehen ist. Dieht unterhalb desselben tritt aus dem Cystoskop der mit einem Eisendraht armierte Harnleiterkatheter heraus und verläuft, naehdem er zunächst aus unbekannten Gründen eine Biegung gemacht hat, im Harnleiter entlang an dem Konkrement vorbei und wendet sich dann im Bogen in der Gegend des unteren Endpunktes, der Synchondrosis saeroiliae., dem Kreuzbein zu. Die Operation dieses Falles, welehe ebenso wie die Einführung des Katheters von Sick gemaeht wurde, ergab einen Harnleiterstein, weleher sich genau an der Stelle befand, wo der Ureter die Beckenwand verlassend, vom Plexus uterinus umgeben, in das Parametrium eintritt.

IV. Blasensteine.

Blasensteine

Die Blasensteine lassen sich in vielen Fällen ebenfalls mittels der Röntgenmethode nachweisen, jedoch nimmt dieselbe hier entschieden die zweite Stelle unter den diagnostischen Hilfsmitteln ein. Die Palpation mit der Sonde dürfte nach wie vor die sicherste und schnellste Art der Feststellung von Konkrementen sein. Ein geübter Untersucher wird in viel kürzerer Zeit und mit größerer Sicherheit die Diagnose mittels des Katheters als mit der Röntgenographie stellen. Es bleiben immerhin einige Fälle übrig, in denen man dem Röntgenapparat den Vorzug geben wird, namentlich, wenn es sich um solche Kranke handelt, die aus irgendwelchen Gründen nicht katheterisiert werden wollen oder dürfen, ferner bei Divertikelsteinen oder in die Schleimhaut eingebetteten Steinen.

Die Technik der Blasensteinuntersuchung ist verhältnismäßig einfach. Man legt den Patienten mit dem Rücken auf eine Kassette vom Format 18/24, so daß der untere Rand der letzteren noch zwischen den Schenkeln sichtbar ist, stellt die Blende auf den oberen Rand der Symphyse ein und deckt die Hoden mit einer Bleiplatte ab. Benutzt man das Kompressionsrohr, so kommt folgende ***typische Stellung*** in Betracht. Der Rand der unteren Zylinderapertur soll hart am horizontalen Schambeinast in die Tiefe eingepreßt werden (Fig. 186). Es empfiehlt sich, das Rohr in schräger Stellung einzudrücken, so daß die Lichtachse unter dem Schambogen hindurchgeht und hierdurch den störenden Schatten der Symphyse außerhalb des Blasenbereiches projiziert. Die Exposition beträgt etwa 1—2 Minuten, K. E 5 Sekunden. Als Kriterium für ein gut gelungenes Bild kann das Steißbein, welches Struktur auf der Platte zeigen muß, dienen. Dieser äußerst dünne Knochen kann leicht bei zu intensiver Belichtung überexponiert werden, so daß das deutliche Hervortreten seiner Zeichnung ein sehr wertvolles Zeichen dafür ist, daß mit der passenden Röntgenröhre (W 6 BW 5) und mit der richtigen Expositionszeit gearbeitet worden ist. Bei senkrechter Durchstrahlung, d. h. bei nicht schräggestelltem Kompressionszylinder, sind die Steine meist dicht unterhalb des Steißbeinschattens und häufig, wenn viele vorhanden sind, nebeneinanderliegend gut zu erkennen. Kleine Steine unter Erbsengröße dürften schwer diagnostizierbar sein, große wird man indessen wohl mit ziemlicher Sicherheit finden können. Schwierig kann unter Umständen die Feststellung sein, ob die Konkremente sich bereits in der Blase befinden, oder ob sie noch im Ureter verweilen. Eine Sondierung kann hier als ergänzendes Hilfsmittel angewendet werden. Außer der vorstehend

beschriebenen Untersuchung in Rückenlage kann auch die Bauchlage in Betracht kommen. Die Platte liegt hierbei genau unterhalb der Blase, und die Röhre befindet sich in etwas schräger

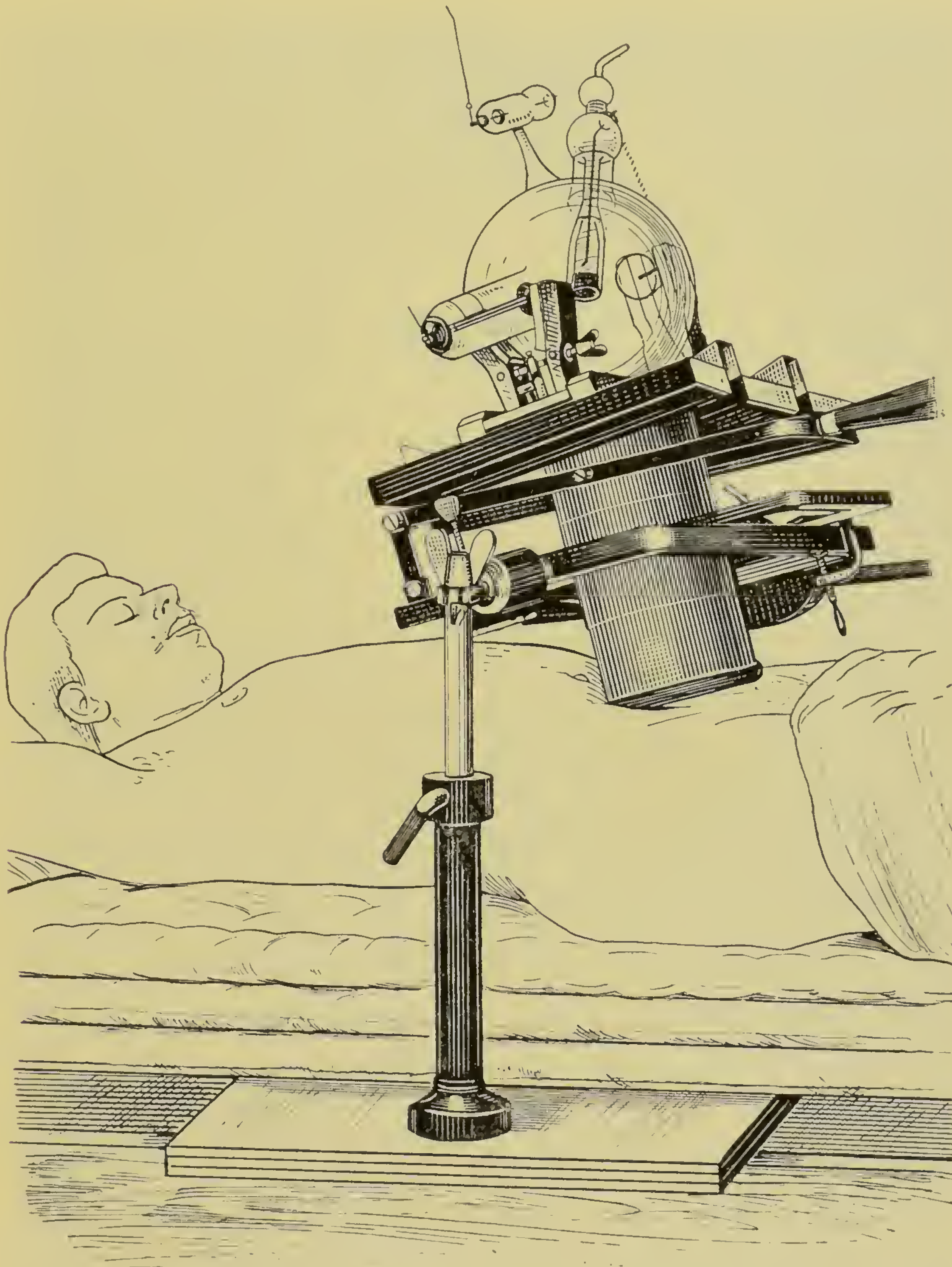


Fig. 186.

Stellung über der Rima ani. Wegen der zu durchdringenden starken Muskelpartien hat die Expositionszeit länger als zwei Minuten zu dauern.

Sauerstoffinsufflation in die Blase

Von hervorragendem Wert zum Zweck des Steinnachweises ist die Auffüllung der Blase mit Sauerstoff (Tafel XI). Bezüglich der Gefährlichkeit dieser Vornahme und der Technik verweise ich auf das gelegentlich der Nierenuntersuchung usw. Gesagte (Seite 470). Tatsache ist, daß sich die Blasensteine mit geradezu glänzender Deutlichkeit auf der Platte markieren. Selbst kleine Konkremente dürften mit dieser Methode nicht zu übersehen sein.

Cowl empfiehlt die Blasenaufnahme in sitzender Stellung des Patienten zu machen. Die Beine sollen leicht erhöht werden, um eine Verlegung des Gewichtes auf die Sitzhöcker zu erzielen. Die Röhre wird so eingestellt, daß die Lichtachse in einem Winkel von 45° zur Platte steht.

Es muß hier auf das bei den Ureterensteinen beschriebene Auftreten von Beckenflecken oberhalb des horizontalen Schambeinastes verwiesen werden (Tafel X, Fig. 1), da diese unter Umständen zur fälschlichen Annahme eines Blasensteines führen können.

Fremdkörper in der Blase

Der Nachweis von Fremdkörpern in der Blase, welche per urethram hineingekommen sind, wie Haarnadeln und andere Instrumente, ist in vielen Fällen leicht, da sich die corpora aliena gewöhnlich mit Salzen inkrustieren und dadurch deutlich auf der Platte markieren.

Haarnadeln in der Peritonealhöhle

Bei einer Patientin lag der Verdacht auf Haarnadel in der Blase vor. Sie wurde von einem sachverständigen Arzte cyscostopiert, eine Haarnadel indessen nicht gefunden. Auch war keine Cystitis vorhanden. Eine Untersuchung der Vagina sowie des Mastdarmes ergab ebenfalls ein negatives Resultat. Da auf Grund dieses Befundes nicht operativ eingegriffen werden konnte, wurde eine Durchleuchtung vorgenommen. Pat. hat inzwischen zugegeben zwei Haarnadeln schnell hintereinander in die Uretra geschoben zu haben. Bei der Durchleuchtung erkannte man die beiden Haarnadeln sehr deutlich in der rechten Seite etwas unterhalb der Blinddarmgegend. Daselbst wurden sie auch durch eine Platte konstatiert. Der klinische Befund läßt das Vorhandensein von Haarnadeln in der Blase mit Sicherheit ausschließen. Die Annahme, daß die Nadeln im Darm lägen, stimmte wiederum mit der Anamnese nicht. Es blieb also nur die eine Deutung übrig, daß durch Perforation die Nadeln in die Peritonealhöhle gelangt seien. Irgendwelche klinischen Symptome waren indessen hierfür nicht vorhanden.

Der Nachweis von Blasensteinen bei Kindern wird in gleicher Weise wie bei Erwachsenen vorgenommen. Infolge der günstigen Verhältnisse wird man wohl stets, auch mit abgekürzter Expositionszeit 2—3 Sek., ein brauchbares und erschöpfendes Ergebnis erreichen.

Es ist schließlich noch der Methode von Jerie zu gedenken, welcher bei Frauen mit Erfolg Blasensteine auf schmalen Platten, welche mittels Spekulum in die Vagina eingeführt wurden, nachgewiesen hat.



22. Kapitel.

Gallensteine.

Seit Beginn der Röntgenuntersuchungen ist es ein sehnlicher Wunsch aller Chirurgen gewesen, auf dem Gebiet der Gallensteine durch die Röntgenstrahlen ein Unterstützungsmittel der Diagnose zu bekommen. Leider ist bis jetzt keine Aussicht vorhanden, hierin mit Sicherheit etwas Positives zu leisten. Es sind zwar einige Fälle bekannt, in denen es gelungen ist, Steine in der Gallenblase (Beck, Albers-Schönberg, Köhler, Holland, Matthias, Fett, Béclère) oder im Ductus cysticus (Treplin) nachzuweisen, gegenüber den vielen hunderten indessen, in welchen die Diagnose ein negatives Resultat ergab, d. h. in welchen man wegen Unvermögens der Methode nicht imstande war, eine Diagnose zu stellen, kommen diese wenigen Fälle nicht in Betracht. Handelt es sich um Gallensteine, welche einen erheblichen Kalkgehalt (Mischprodukte aus Cholesterin oder Bilirubin mit Calciumphosphat oder Calciumkarbonat) haben, so ist nichts im Wege, sie röntgenographisch darzustellen. Es sind dieses indessen sehr seltene Fälle, denn in weitaus der Mehrzahl (90% aller Gallensteine bestehen aus Cholesterin) kommen solche Konkremente in Betracht, welche frei von Kalk sind und infolgedessen, da sie nur aus organischen Bestandteilen bestehen, kein Absorptionsvermögen für Röntgenstrahlen haben. Die nachweisbaren Gallensteine erscheinen oft in Ringform. Es ist dieses typisch für Konkremente mit Kalkschalen.

Gallensteine

Ringform der Gallensteine

Ich konnte einen Gallenstein bei einer älteren Dame nachweisen. Er erschien in der rechten Nierengegend als etwa fingerringgroßer Ring. Es handelte sich zweifellos um einen Stein mit einer Kalkschale[1]).

Sodann habe ich einen walnußgroßen Stein, der nicht operiert wurde, nachgewiesen. Dieser hatte keine Ringform, sondern war gleichmäßig undurchlässig. Auch hier dürfte ein verkalkter Stein anzunehmen sein.

Außer den erwähnten beiden positiven Fällen verfüge ich über zwei weitere, die zweifelhaft sind. Man sieht wohl für Steine deutbare Schatten, kann aber keine Garantie für die Richtigkeit der Diagnose übernehmen.

Bei einem weiteren Fall glaube ich die gefüllte Gallenblase auf der Platte gesehen zu haben ohne dieses indessen beweisen zu können.

---

[1]) Das gleiche beobachtete später Holland bei einer 45jährigen Frau. Die Steinschatten hatten hier ebenfalls Ringform. Nach der Operation stellte sich heraus, daß sie aus Kalksalzen und der Kern aus Cholesterin und Gallenpigment bestand.

Schließlich sei noch mitgeteilt, daß ich eine Dame mit völlig negativem Resultate untersuchte, bei der dann operativ eine große Menge von Steinen entfernt wurden.

Legt man einen Gallenstein auf eine photographische Platte und durchstrahlt ihn, so markiert er sich mit seiner inneren Struktur sehr deutlich. Legt man dagegen einen Gallenstein in ein für Röntgenstrahlen durchlässiges, mit Galle gefülltes Gefäß, so erscheint der Stein, da er dasselbe Absorptionsvermögen wie die Galle hat, nicht auf der Platte.

Aus diesem Grunde ist es unmöglich, ein Bild von Steinen, welche in der Gallenblase liegen, hervorzubringen. Die Sekundärstrahlenbildung in der Leber ist eine zu bedeutende und auch durch Blenden bisher nicht zu beseitigende gewesen. Es ist indessen zu hoffen, daß wir bei fortschreitender Technik auch diese Schwierigkeiten überwinden werden, und daß die Röntgenmethode in späterer Zeit mit Sicherheit Konkremente wird nachweisen können. Die Möglichkeit, die photographische Platte nahe an die Gallenblase heranzubringen, ist ohne weiteres gegeben, da die Zwischenschichten wesentlich dünner sind als bei den Nieren, mithin bezüglich Anlegung der Platte, die Gallensteine noch günstiger dastehen, als die Nierensteine.

Am besten legt man den Kranken in Bauchlage auf die Platte und stellt den (10 oder 13 cm) Zylinder genau senkrecht über der Gallenblasengegend ein. Auch in Rückenlage kann es mit der II. typischen Nierensteineinstellung (Fig. 184, S. 488) gelingen. Die Röhre muß selbstverständlich weich sein. Auch das Trochoskop eignet sich gut zur Aufnahme, mit dem Haenischschen Plattenhalter kann man die Platte vorzüglich auf die Gallenblasengegend aufdrücken. Wie sich in Zukunft die Methode gestalten wird, ist noch nicht zu sagen. Es wird sich jedenfalls darum handeln, mittels der Strahlung einer sehr weichen Röhre durch die Leber hindurchzudringen.

Man hat bei dem Studium von Gallensteinplatten besonders auf die Lage etwaiger Schatten zu achten. Gewöhnlich wird angenommen, daß sich die Steine vorwiegend rechts seitlich unter dem Rippenbogen auf der Platte projizieren. Dieses ist indessen nicht immer der Fall, denn es kommen die genannten Schatten auch hart an der Wirbelsäule, ungefähr in derselben Gegend, wie die Nierensteine, vor.

---

23. Kapitel.

Die Durchleuchtung.

I. Chirurgie.

Die Untersuchungen auf dem Leuchtschirm bilden eine der Hauptaufgaben, welche an den Röntgenuntersucher herantreten. Die Indikationen sind zurzeit bereits außerordentlich zahlreich und versprechen bei weiterer Ausgestaltung des Verfahrens von Jahr zu Jahr weiter zuzunehmen. In der chirurgischen Diagnostik treten gegenüber der internen, die Schirmuntersuchungen zurück, da die Exaktheit, welche die Platte gibt, nicht durch die Schirmbilder erreicht werden kann. Dennoch bleibt eine Reihe von Fällen der direkten Untersuchung vorbehalten. Es sind dieses in erster Linie die an leicht zu durchstrahlenden Körperpartien befindlichen Fremdkörper, besonders Projektile oder Nadelfragmente, welche in Extremitäten oder auch an anderen Stellen des Körpers eingedrungen sind. Jeder Untersucher wird, bevor er in einem Fall von Fremdkörper zur Herstellung einer Platte schreitet, zunächst den Versuch der groben Lokalisation auf dem Leuchtschirm machen, denn einerseits wird für den Patienten das Verfahren verbilligt, andererseits können die röntgenographischen Aufnahmen mit größerer Treffsicherheit, wenn man bereits ungefähr über den Sitz des Corpus alienum im klaren ist, gemacht werden. Ein negatives Resultat bei Untersuchungen auf Fremdkörper mittels Leuchtschirm berechtigt noch nicht dazu, definitiv einen solchen auszuschließen. Hier entscheidet allein die Platte. Chirurgische Durchleuchtung

Ich untersuchte ein Mädchen, welches sich mehrere Nähnadeln, die ich unter der Haut palpieren konnte, in die Brust gestoßen hatte. Trotz exakter Durchstrahlung waren die Nadeln auf dem Schirm nicht zu sehen, während sie auf der Platte einwandfrei erschienen. Fremdkörper

Ein Herr hatte vor Jahren einen Pistolenschuß in die Nasenhöhle bekommen. Die Kugel war seinerzeit nicht gefunden worden. Er kam zur Röntgenuntersuchung, weil er beim Drehen des Kopfes ein Knarren und Reiben in der Halswirbelsäule verspürte. Außerdem traten bei ihm trotz völliger Gesundheit plötzlich Temperaturen bis über 40° auf, die ebenso schnell wieder verschwanden. Bei der Durchleuchtung fand man kleine Projektilreste in der Nase, im übrigen war das eigentliche Geschoß nicht auffindbar, bei der Aufnahme wurde es zwischen Atlas und Hinterhaupt gefunden.

Ob ein Fremdkörper überhaupt in dem zur Untersuchung kommenden Körperteil vorhanden ist, entscheidet man nach Grashey Fremdkörper-Nachweis (Grashey)

am besten so, daß man einen Körper der gleichen Substanz wie der gesuchte hinter den Körperteil hält und dann durchleuchtet.

Die Fremdkörper, z. B. in der oberen Extremität, wird man in der Weise auf dem Schirm betrachten, daß man in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen durchstrahlt. Außerdem aber empfiehlt es sich, durch Drehungen der Extremität sich darüber Aufklärung zu verschaffen, in welcher Ebene der Fremdkörper zu suchen ist. Je nachdem er größere oder kleinere Exkursionen auf dem Schirm ausführt, als der gleichzeitig mit beobachtete Knochen, wird man einen Schluß ziehen können, ob er vor oder hinter dem letzteren gelegen ist, denn es ist klar, daß ein Fremdkörper, welcher beispielsweise im Unterarm an der dem Beschauer zugewendeten Seite sich befindet, größere Exkursionen bei einer Drehung ausführen wird, als der entfernter liegende Radius respektive die Ulna (Levy-Dorn).

Eine im Thorax befindliche Kugel macht bei Drehungen des Patienten um seine Längsachse, wenn sie der dem Schirm anliegenden Körperhälfte angehört, gleichnamige, im entgegengesetzten Fall ungleichnamige Bewegungen.

Es ist eine Methode angegeben worden, welche die Bestimmung der Fremdkörper mittels in die Extremität eingestoßener aseptischer Nadeln ermöglichen soll. Dieses Verfahren, auf welches noch später zurückzukommen sein wird, bietet so viele Vorteile, daß schon allein aus diesem Grunde in der Chirurgie die Methode der direkten Durchleuchtung in Anwendung gebracht werden sollte. Für den Operateur ist es sehr nützlich, die nötige Sicherheit in der Handhabung des Leuchtschirms zu besitzen, denn es ist für den Patienten von Bedeutung, wenn gleich in derselben Sitzung, in welcher die Durchleuchtung vorgenommen wird, auch der Fremdkörper entfernt werden kann. Während wohl in allen Teilen der oberen Extremität ein Projektil oder eine größere Nadel mittels Leuchtschirm nachzuweisen sein wird, ist dieses in der unteren Extremität mit einigen Schwierigkeiten verbunden, so daß hier die Schirmuntersuchungen sich hauptsächlich auf den Fuß und Unterschenkel beschränkt. Leichter sind größere Fremdkörper (Projektile) innerhalb des Thorax zu finden, da hier die große Durchlässigkeit der Lungen sehr günstige Verhältnisse für die Schirmuntersuchungen schafft. Es ist jedoch davor zu warnen, das Vorhandensein eines Geschosses in der Thoraxhöhle dann auszuschließen, wenn dasselbe auf dem Leuchtschirm nicht manifest geworden ist, denn es sind genügend Fälle bekannt, in denen bei negativem Durchleuchtungsbefund dennoch sich später Kugeln gefunden haben.

Besonders bei den Untersuchungen des Thorax spielt die Durch-

leuchtungstechnik eine bedeutende Rolle, da wir hier in verschiedenen Ebenen und Strahlenrichtungen sämtliche Partien der Brusthöhle eingehend durchmustern können.

Fremdkörper und Durchleuchtung

Mittels des Bariumschirmes innerhalb der Bauchhöhle nach kleineren Fremdkörpern[1]) zu suchen, dürfte mit Ausnahme bei Kindern ein vergebliches Bemühen sein, da wir nicht imstande sind, durch die voluminösen Weichteile hindurch deutliche Bilder zu erhalten. Selbstverständlich gilt dieses nicht von den zu diagnostischen Zwecken in den Magen oder Darm eingeführten Fremdkörpern (Sonden, Fibrodermkapseln, Wismut).

Somit beschränkt sich der Fremdkörpernachweis mittels des Leuchtschirmes vorwiegend auf die obere Extremität, den Hals, die Brusthöhle, sowie auf die untere Extremität abwärts vom Knie und unter Umständen auf den Schädel. Bei allen übrigen Partien des Körpers kommt die Untersuchung mit der Platte zur Anwendung.

Frakturen und Durchleuchtung

Bei den Frakturen spielt die Durchleuchtung ebenfalls eine untergeordnete Rolle; hauptsächlich ist sie dann angezeigt, wenn man für eine nachfolgende röntgenographische Aufnahme die günstigste Einstellung bestimmen will. Ein Knochenbruch, welcher zur Dislokation der Bruchenden geführt hat, ist auf dem Schirm sowohl in der oberen, wie in der unteren Extremität deutlich zu erkennen. Sobald indessen keine nennenswerte Verschiebung der Bruchenden vorliegt, ist die Diagnose auf Fraktur nicht mehr zu stellen, da Knochensprünge feinerer oder gröberer Art in der Mehrzahl der Fälle mittels Durchleuchtungsschirm nicht zu sehen sind. Es können also die Schirmuntersuchungen, wenn es sich um Ausschluß einer Fraktur handelt, nicht in Betracht kommen, allein die in zwei oder mehr aufeinander senkrecht stehenden Ebenen gemachten Röntgenogramme vermögen hier ein einwandfreies Resultat zu geben.

Wenn man bedenkt, daß selbst auf den Platten, die in zwei Ebenen gemacht worden sind, unter Umständen Frakturen übersehen werden, so leuchtet es ohne weiteres ein, daß das schwache Bild, welches der Bariumschirm zeigt, niemals ausreichen wird, um eine sichere Diagnose zu stellen. Handelt es sich um Knochenbrüche anderer Teile des Skelettes, wie Rippen-, Wirbel-, Beckenbrüche, so ist selbstverständlich mit der Schirmuntersuchung gar nichts zu erreichen und ausschließlich das Plattenverfahren in Anwendung zu bringen. Mit Vorteil verwendet man indessen die Schirmuntersuchungen bei Frakturen, wenn es sich darum handelt,

[1]) Murphyknöpfe sind sichtbar.

die Lage einer solchen im Gipsverbande zu kontrollieren, wobei zu bemerken ist, daß ein trockener Gipsverband durchlässiger als ein feuchter ist. Ein einfaches Übersichtsbild genügt, da wir nicht die Bruchlinien suchen, sondern nur feststellen wollen, ob die beiden Bruchenden in der richtigen Weise zueinander stehen.

Luxationen und Durchleuchtung

Günstiger sind die Aussichten bei den Luxationen. Hier kann die Schirmuntersuchung sehr wohl in vielen Fällen für die Plattenuntersuchung eintreten. Ihre eigentliche Domäne ist die Luxation im Schultergelenk. Wenn dieselbe wegen großen Blutergusses mittels der üblichen klinischen Methoden nicht zu erkennen sein sollte, so genügt ein Blick auf den Leuchtschirm, um sofort die nötige Klarheit über die vorliegenden Verhältnisse zu schaffen. Man kann sogar sagen, daß die Bilder eines luxierten Oberarms auf dem Schirm instruktiver sind als auf der Platte, da wir durch seitliche Drehungen des Patienten uns auch über die Sagittalebene einen Aufschluß, den die Platte nicht gewährt, verschaffen können. Das gleiche gilt von den Luxationen im Ellenbogengelenk, wenn auch mit einiger Einschränkung, denn nicht in allen Fällen dürfte es beispielsweise möglich sein, eine Luxation des Radiusköpfchens auf dem Schirm mit Sicherheit zu bestimmen. Hier wird man besser tun, neben der Schirmuntersuchung auch das röntgenographische Verfahren in Anwendung zu bringen. Die Luxation im Handgelenk, sowie die der Finger, ferner die Luxation im Fußgelenk und in den Zehengelenken eignen sich durchweg für die Schirmuntersuchung. Durchleuchtungen bei der Hüftgelenksluxation, sowohl der angeborenen, wie der traumatischen, bieten jetzt keine Schwierigkeiten mehr.

Die angeborene Hüftverrenkung ist unter allen Umständen gut auf dem Schirm zu diagnostizieren. Die Details, wie z. B. die Beschaffenheit des Pfannendaches, zeigt nur die Platte genügend gut.

Man kann sagen, daß die Güte des Durchleuchtungsbildes des Hüftgelenkes vom Erwachsenen ein Kriterium für die Röhre, Blende und den Induktor ist.

Knochenerkrankungen und Durchleuchtung

Bei den Untersuchungen entzündlicher Knochenprozesse, bei Tuberkulosen, Osteomyelitis und Syphilis läßt die Schirmuntersuchung fast vollständig im Stich. Hier überwiegt die Güte des auf der Platte erhaltenen Bildes den diagnostischen Wert der ersteren so sehr, daß man sich die Mühe einer Durchleuchtung ersparen und sofort zum Plattenverfahren greifen kann.

Konkremente und Durchleuchtung

Das gleiche gilt von dem Nachweis der Konkrementen. Nierensteine mit dem Schirm zu suchen, ist ein Versuch, welcher nur in seltenen Fällen von Erfolg begleitet sein wird. Es ist mir

einigemal einwandfrei gelungen, größere Steine bei dünnen Frauen zu sehen, in allen übrigen Fällen aber, in welchen ich den Versuch anstellte, ist das Resultat ein negatives geblieben. Wenn schon das Plattenverfahren bei Nierensteinen beträchtliche Schwierigkeiten bietet, so ist selbstverständlich die viel ungenauere Untersuchung mit dem Leuchtschirm von vornherein zurückzuweisen. Das gleiche gilt von den Blasensteinen.

Zähne und Durchleuchtung

Auch bei den Zahnuntersuchungen bietet uns der Leuchtschirm wenig Vorteile. Es ist nicht zu bestreiten, daß man Zahnanlagen auf dem Schirm sieht, indessen sind die Bilder ungenau und verwaschen, so daß wohl jeder, der sich mit der Zahndiagnostik beschäftigt hat, unbedingt dem Filmverfahren oder der Platte den Vorzug geben wird.

Aus dem Gesagten geht also hervor, daß die Schirmuntersuchungen in der Chirurgie eine relativ kleine Bedeutung haben, wenngleich eine vollständige Vernachlässigung derselben nicht statthaft ist.

II. Innere Medizin.

Innere Medizin und Durchleuchtung

Eine wesentlich größere Bedeutung kommt der Durchleuchtung in der inneren Medizin zu. Hier liegen die Verhältnisse umgekehrt wie in der Chirurgie. Während bei letzterer meist Knochen zur Untersuchung kommen, welche sich durch hohes Absorptionsvermögen auszeichnen, haben wir bei den Untersuchungen, z. B. des Abdomen, zu inneren Zwecken solche Teile des menschlichen Körpers vor uns, deren Absorptionsvermögen ein außerordentlich geringes ist. Schon aus diesem Grunde findet die Aufnahme auf der Platte unter ungünstigen Bedingungen statt. Als hauptsächlich erschwerendes Moment kommt aber die Bewegung, Peristaltik usw., der zu untersuchenden Organe in Betracht. Da es sich vorwiegend um das Herz handelt, so können bei seinen permanenten Kontraktionen keine scharfen Bilder auf der Platte erzeugt werden, es sei denn, daß man Momentaufnahmen macht. Ganz anders ist es dagegen mit der Schirmuntersuchung, hier stören die Bewegungen nicht. Im Gegenteil ist es von hoher klinischer Bedeutung, gerade sie genau zu beobachten und zu kontrollieren, da manche Diagnose (Magentumoren) auf der Betrachtung dieser Verhältnisse aufgebaut wird. Vorwiegend sind es die Untersuchungen des Herzens, der großen Gefäße, der Lungen, der Speiseröhre, des Zwerchfells, des Magen und Darmes, welche uns interessieren.

Infolge der verschiedenen Absorptionsverhältnisse dieser Organe gelingt es gut, sie voneinander zu differenzieren, so daß man

prägnante Bilder auf dem Schirm erblickt, aus denen sich mancher wertvolle Schluß für die Diagnose ziehen läßt.

Herz-durchleuchtung

Bei den Herzuntersuchungen kann man namentlich zur Bestimmung der Spitze, sowie der unteren Grenze, diese Helligkeitsdifferenzen dadurch steigern, daß man den Patienten kurz vor der Untersuchung ein Brausepulver nehmen läßt. *Nat. bicarb. 2,0* wird in Wasser gelöst, wird zuerst getrunken und hierauf das ebenfalls gelöste *Acid. tartaric. 1,5* genommen.

Pericard

Die physiologischerweise oft vorhandene Magenblase wird hierdurch vergrößert, so daß man durch sie hindurch die erwähnten Herzabschnitte sieht. Bei Benutzung besonders kontrastreicher, für hohe Belastung geeigneter Röhren kann man an der Herzspitze das sich systolisch abhebende Pericard deutlich erkennen.

Lungen-durchleuchtung

Ein günstiges Feld für die Durchleuchtung bietet die Untersuchung der Lungenspitzen, wenn auch hier der Plattenaufnahme weitaus der Vorzug zu geben ist. Bei dorsoventraler Strahlenrichtung wird die Röhre in der Höhe des vierten oder fünften Halswirbels eingestellt. Steht die Röhre zu hoch, so decken sich der Claviculaschatten und die Lungenspitzen. Bei der umgekehrten Strahlenrichtung wird die Lichtachse in der Höhe des Manubrium sterni eingetellt. Bei niedrigerer Einstellung würden die Schlüsselbeinschatten die Spitze verdecken. Bei ventrodorsaler Strahlenrichtung haben die Lungenspitzen die Form eines Winkels, bei der umgekehrten Richtung die eines Halbkreises oder Kreises, ungefähr von der Größe eines silbernen Fünfmarkstückes. Zur Überblickung der gesamten Lungenspitzen bedient man sich vorteilhaft der schrägen Durchleuchtung, so zwar, daß die Röhre hinter dem betreffenden Schultergelenk steht. Auf diese Weise wird das Spitzenfeld um einen medianen, früher im Mittelschatten verborgenen Lungenanteil vermehrt.

Zur Untersuchung der gesamten Lungen bei der chron. Lungentuberkulose ist die Durchleuchtung unentbehrlich, muß aber stets durch Atemstillstandsaufnahmen kontrolliert werden.

Von außerordentlichem Wert und in Folge der Schwere der Erkrankung meist nicht durch die Röntgenographie zu ersetzen ist die Durchleuchtung bei der Pneumonie. Zuerst hat Rieder[1]) hierauf hingewiesen und seiner Anregung folgend, ist von Jacksch und Rotky eine größere Monographie herausgegeben worden. Die Lokalisation des pneumonischen, namentlich des zentralen Herdes, seine Ausbreitung, seine spätere Resorption, die Residuen bei unvollkommener Heilung sekundäre Pleuritiden usw., lassen sich in

---

[1]) München, med. W. 1906. Nr. 41.

einwandfreier Weise und schonender für den Patienten als mittels Perkussion und Auskultation nachweisen. Die Bronchopneumonien sind in den meisten Fällen zu erkennen. Weil das Schirmbild der Lungen wesentlich deutlicher beim liegenden als beim sitzenden Patienten ausfällt, ist bei möglichster Schonung des Kranken in solchen Fällen in erster Linie die Trochoskopdurchleuchtung anzuwenden. Mit Vorteil wird man nach Krause[1]) zum Nachweis feiner Schattenunterschiede den Leuchtschirm in ca. 50 cm Abstand von der Brust der Patienten halten. Die Schatten erscheinen alsdann vergrößert und sind bisweilen besser wahrzunehmen als auf dem der Brust anliegendem Bariumschirm.

Im Abdomen können wir, wie bei den Fremkörpern besprochen, außer bei seltenen Nierensteinfällen und der bisweilen nachweisbaren Leber, keinerlei Schattenunterschiede wahrnehmen. Die einzige Ausnahme machen der Magen und Darm, deren Größen- resp. Lagebestimmung usw. mittels eingeführter Wismutpulver auf diesem Wege vorgenommen werden kann. Hierüber wird im Kapitel „Magenuntersuchungen" das Nähere ausgeführt werden.

Es ist nicht die Aufgabe dieses Buches, auf die Diagnostik der Erkrankungen der Thorax- und Abdominalorgane mittels Röntgenstrahlen näher einzugehen. Rieder, Holzknecht, Kienböck, Moritz, Levy-Dorn, de la Camp, Arnsperger, Groedel, Fraenkel und viele andere haben in einer Anzahl grundlegender Arbeiten und Monographien dieses Kapitel abgehandelt. Es bleibt für ein Lehrbuch der Technik nur übrig, diejenigen Methoden anzugeben, mit welchen sich die verschiedenen von den genannten Forschern angestellten Untersuchungen am besten ausführen lassen. Es ist nicht zu bestreiten, daß die Röntgenoskopie in der inneren Medizin noch immer nicht ihren Wert entsprechend ausgenutzt wird. Es hat dieses seinen Grund darin, daß zu viele und komplizierte Nebenapparate nötig sind, die der Praktiker, welcher nicht über ein größeres Untersuchungslaboratorium verfügt, nicht in Anwendung bringen kann.

Instrumentarium.

Der Bariumplatincyanürschirm, welcher zu den Untersuchungen benutzt wird, ist das Hauptrequisit, und von seiner Güte hängt außerordentlich viel ab. Man sei sehr vorsichtig in der Wahl desselben, da nicht alle Exemplare gleichmäßig gut fluoreszieren. Biegsame Schirme, welche in früheren Jahren empfohlen worden sind, kann man entbehren, da die Verhältnisse, welche an

Bariumplatincyanürschirm

[1]) Zeitschrift für Elektrologie und Röntgenkunde. Bd. 9, Heft 2.

und für sich schon schwierig zu deuten sind, bei Betrachtung auf dem gebogenen Schirm an Kompliziertheit noch gewinnen. Es wird vollständig ausreichen, wenn man einen festen Leuchtschirm vom Format 30/40 besitzt. Zweckmäßig ist es außerdem, noch einen kleinen Schirm vom Format 13/18 zu haben, um bei Betrachtung kleiner Bezirke nicht durch die gleichzeitig mit fluoreszierende große Schirmfläche gestört zu werden. Fluoroskope, Kryptoskope u. dgl. sind unpraktisch und nicht zu empfehlen. Die Aufbewahrung der Schirme muß an einem trockenen Orte im Dunkeln stattfinden. Man vermeide die Nähe eines Ofens, da durch Verlust von Kristallwasser die Leuchtfähigkeit beeinträchtigt wird. Es wurde seinerzeit angeraten, die Schirme dem hellen Tageslicht anzusetzen, da sie dadurch an Fluoreszenzkraft für die Röntgenstrahlen gewinnen sollten, eine Vorschrift, die sich indessen nach meinen Erfahrungen nicht bewährt hat. Ich möchte im Gegenteil behaupten, daß man hierdurch den Schirm allmählich zugrunde richtet. Zweckmäßig ist es, über der die Bariumplatincyanürschicht deckende Bleiglasplatte eine dünne Zelluloidfolie befestigen zu lassen, um auf dieser eventuell zeichnen oder schreiben zu können, wenn man es nicht vorzieht, hierzu die Glasplatte selbst zu benützen.

Da die Röntgenstrahlen das Auge, die Gesichtshaut und den Bartwuchs des Untersuchers bei berufsmäßiger sich immer wiederholender Anwendung schädigen, ist die Belegung der Schirme mit Bleiglasplatten um so mehr geboten, als das letztere die Güte des Bildes nicht im mindesten beeinträchtigt (vgl. das Kapitel „Schutzvorrichtungen“).

Nächst dem Schirm brauchen wir eine vorzügliche Röhre, welche imstande ist, bei voller Beanspruchung möglichst lange ihren Härtegrad zu konservieren. Eine ausgiebige Durchleuchtung dauert, namentlich dann, wenn das Bild Zuschauern demonstriert werden soll, unter Umständen 5—10 Minuten. Während dieser Zeit muß die Röhre konstant bleiben, d. h. sie darf weder härter noch weicher werden. Je nach der Dicke des Patienten wird man mit mehr oder weniger harten Röhren arbeiten. Im allgemeinen gilt aber die Regel, daß bei den Untersuchungen der Brustorgane das Bild um so besser und intruktiver ausfällt, je weicher die Röhre gewählt wird. Es ist Holzknecht durchaus beizustimmen, daß es nicht auf den Grad der Helligkeit ankommt, sondern vor allem auf den des Konstrastes. Es ist immerhin schwierig, eine solche Röhre stets zur Hand zu haben, da gerade die weichen bei einigermaßen intensiver Beanspruchung sehr schnell niedrig werden und bald ein Stadium erreichen, in welchem sie überhaupt nicht mehr zur Durchleuchtung

geeignet sind. Für diese Untersuchungen sind solche Röhren zu bevorzugen, welche eine große Glaskugel haben, da sie sehr stabil in ihren Evakuationsgraden sind; außerdem haben sie den großen Vorzug einer langen Lebensdauer. Vorzüglich sind die besprochenen Wasserkühlröhren großen Kalibers (Müller) für lang dauernde Untersuchungen geeignet. Diese Röhren stehen bei richtiger Beanspruchung außerordentlich lange, da die Erhitzung der Antikathode infolge der Wasserkühlung in Fortfall kommt.

Durchleuchtungsröhren

Es kommen ferner die großen Dauerröhren der Firma Gundelach in Betracht, welche ebenfalls recht gute Bilder geben. Bei ihnen ist es indessen nötig, eine Ventilröhre vorzuschalten. Man bevorzuge die Exemplare, welche eine tellerförmige, flache, nicht verstärkte Antikathode haben, da ihr Licht ein besonders gutes und intensives ist. Bei allen Röhren ohne Wasserkühlung ist die Gefahr des Durchschmelzens der Antikathode, wodurch die Röhre zugrunde gerichtet wird, eine sehr große. Mit kleinen Röhren kann man selbstverständlich ebenfalls gute Durchleuchtungsresultate erzielen, wenngleich die Auswahl hier im allgemeinen schwerer fallen, und auch infolge des geringeren Rauminhaltes der Kugel schneller ein Weich- oder Hartwerden eintreten wird.

Als Unterbrecher benutzen wir je nach Belieben den Quecksilbermotorstiftunterbrecher, die Turbine, den Rotax und andere oder den elektrolytischen Stromunterbrecher. Letzterer gibt das hellste Licht und hat die schon erwähnten Vorzüge, welche ihn auch für das Gebiet der Schirmdiagnostik zum besten Apparat stempeln. Die Stromzufuhr zur Röhre muß, um eine Überlastung nach Möglichkeit zu vermeiden, sehr genau dosiert werden. Die Ein- und Ausschaltung der Röhre soll vom Untersucher in bequemer Weise vorgenommen werden können, damit vor allen Dingen kein Ortswechsel des Arztes während der Durchleuchtung stattfindet.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Erzielung brauchbarer diagnostischer Resultate ist die gründliche Vorbereitung der Augen des Untersuchers und derjenigen Personen, welchen die Durchleuchtung demonstriert werden soll.

Adaption der Augen des Untersuchers

Der Unterlassung dieser Vorbereitung ist es zum Teil zuzuschreiben, daß manche klinischen Chefs die interne Untersuchung mittels Röntgenstrahlen noch nicht genügend würdigen. Wer gelegentlich der Hauptvisite für wenige Augenblicke im Röntgenlaboratorium vorspricht, ist mindestens noch während zehn Minuten derart geblendet, daß er die feinen Schattendifferenzen nicht wahrnimmt und nur den Bariumschirm schwach leuchten sieht.

Nach Cowl kommt der Netzhaut die Fähigkeit zu, durch

längeren Aufenthalt im Dunkeln ihre Lichtempfindlichkeit viele hundertmal zu steigern, so daß sie nach dieser Adaptation selbst minimale Helligkeitsunterschiede zu perzipieren imstande ist. Zur Erreichung der höchsten Differenzierungsfähigkeit sind ungefähr zehn Minuten erforderlich.

Sehr zweckmäßig ist es, die Vorbereitungen zur Durchleuchtung, sowie das Auskleiden des Patienten nur im indirekten Licht vornehmen zu lassen, so daß sich die Augen des Untersuchers unterdessen allmählich adaptieren.

Das Haupterfordernis bei der internen Untersuchung ist die leichte, in allen Richtungen des Raumes mögliche Beweglichkeit der Röhre. Wenn wir uns die Lageverhältnisse im Thorax vergegenwärtigen, wie das Zwerchfell als Halbkugel in die Brusthöhle hineinragt, so daß sowohl vorn wie hinten Lungenpartien über die Kuppe hinübergelagert sind, so wird ohne weiteres klar, daß diese letztgenannten Teile bei horizontalem Strahlengange, da das Zwerchfell als Hindernis im Wege steht, nicht zu Gesicht kommen. Es können also z. B. sehr wohl Projektile, welche in den untersten Randpartien der Lungen oder des Pleuraraumes stecken, infolge Deckung durch den Zwerchfellschatten dem Untersucher verborgen bleiben. Anders werden die Verhältnisse, wenn die Lichtquelle so einstellbar ist, daß die Strahlen entweder von *hinten unten* nach *vorn oben*, oder von *vorn unten* nach *hinten oben* verlaufen. In diesem Falle können auch die Randpartien der Lunge genau untersucht werden. Bedingung für die Erzielung dieser Strahlenrichtungen ist es, daß die Röhre so gestellt werden kann, daß ihre Antikathode nach jeder Richtung die gewünschte Strahlung aussendet.

Wie dieses zu erreichen ist, geht aus der Beschreibung der Blendenvorrichtungen (siehe daselbst) hervor.

Durchleuchtungsblenden und Instrumentarien

Ebenso wichtig wie bei der röntgenographischen Technik ist die Blende bei der röntgenoskopischen Untersuchungsmethode. Ich möchte fast sagen noch wichtiger, da manche Diagnosen nur bei richtiger Blendentechnik gestellt werden können. Es kommt darauf an, daß man eine Blende besitzt, welche es erlaubt, einesteils ausgedehnte Bezirke zu überblicken, anderenteils durch Verengerung ihres Diaphragma kleine Partien abgeblendet zu zeigen. Zweckmäßig ist es, sich der Seite 237 beschriebenen Schiebeblende zu bedienen, welche ähnlich wie die Irisblende beliebige Weitegrade durch einfache Verschiebung ihrer Teile annehmen kann.

Die zuerst von Holzknecht angegebene und dann mehrfach abgeänderte, an Flaschenzügen äquilibriert aufgehängte Blende hat manche Vorzüge, vor allen den großer Handlichkeit. Sie entspricht

allerdings noch nicht allen Anforderungen, da keine absolute Abblendung mit ihr zu erzielen ist, denn auch dann, wenn zwischen Röhre und Patient eine Bleiplatte mit Diaphragma gehalten wird, stören die rings im Raum befindlichen Sekundärstrahlen. Außerdem ist der Arzt den vagabondierenden Strahlen preisgegeben, so daß bei der strikten Anforderung der vollständigen Sicherstellung des Untersuchers diese Methode der Abblendung nicht als technisch vollkommen anerkannt werden kann. Es muß verlangt werden, daß nur durch das Diaphragma der Blende Röntgenstrahlen dringen, daß alle übrigen Strahlungen vollständig ausgeschaltet werden.

Die exakte Abblendung, sowie die Durchstrahlungsmöglichkeit in jeder beliebigen Richtung erreiche ich für Vertikalstellung des Patienten durch einen Apparatenkomplex, welcher aus der Bleikistenblende und dem Universaldurchleuchtungsstuhl besteht, für Horizontallagerung durch das Trochoskop. Die Höhenverstellung der Lichtquelle geschieht durch Heben oder Senken der Bleikistenblende, alle anderen Strahlenrichtungen und Einstellungen, die Seitenverschiebung, die Drehung um die Längsachse des Kranken und die Entfernung und Annäherung an die Röhre werden durch die Bewegung des auf dem oben beschriebenen Stuhl sitzenden, liegenden oder stehenden Patienten erreicht (vergl. Seite 249).

---

24. Kapitel.

Das Trochoskop und seine Technik.

I. Konstruktion des Trochoskops.

Eine wesentliche Bereicherung hat die Röntgentechnik durch das zuerst von Holzknecht und Robinsohn konstruierte Trochoskop erhalten. Der Apparat kann vielseitigen Zwecken dienstbar gemacht werden. Von diesen erscheinen mir die *horizontalen Durchleuchtungen* und *Aufnahmen*, die *Operationen im direkten Röntgenlicht*, und die *Orthoröntgenographie* die hauptsächsten zu sein. Das Trochoskop ist im wesentlichen ein Untersuchungstisch, bei welchem sich die Röhre unterhalb der Tischplatte befindet, und zwar ist sie daselbst durch Kombination zweier Bewegungen beweglich angeordnet. Es kann also jeder Punkt der Tischplatte von unten her senkrecht oder schräge bestrahlt werden. Durch zweckmäßig konstruierte Kontakte ist die Aufgabe gelöst, die Röhren

während der Funktionen mittels Drehungen von Kurbeln, welche an der Außenseite des Tisches angebracht sind, leicht zu bewegen und auf gewisse Punkte einzustellen.

Das Trochoskop von Holzknecht ist in den letzten Jahren so wesentlich verbessert worden, daß es zu einem geradezu unentbehrlichen Instrument in jedem grossen Röntgeninstitut geworden ist. Zwischen dem ursprünglichen Apparat und dem neuesten Typ nach Haenisch stehen verschiedene sehr zweckmäßige Trochoskope, z. B. das nach Machol und anderen. In seiner Art vollendet praktisch und von mir in jahrelanger Arbeit erprobt, ist das Haenische Trochoskop, welches von seinem Urheber auf der Röntgenstation des allgemeinen Krankenhauses St. Georg in Hamburg konstruiert wurde.

Haenisch beschreibt den Apparat wie folgt:

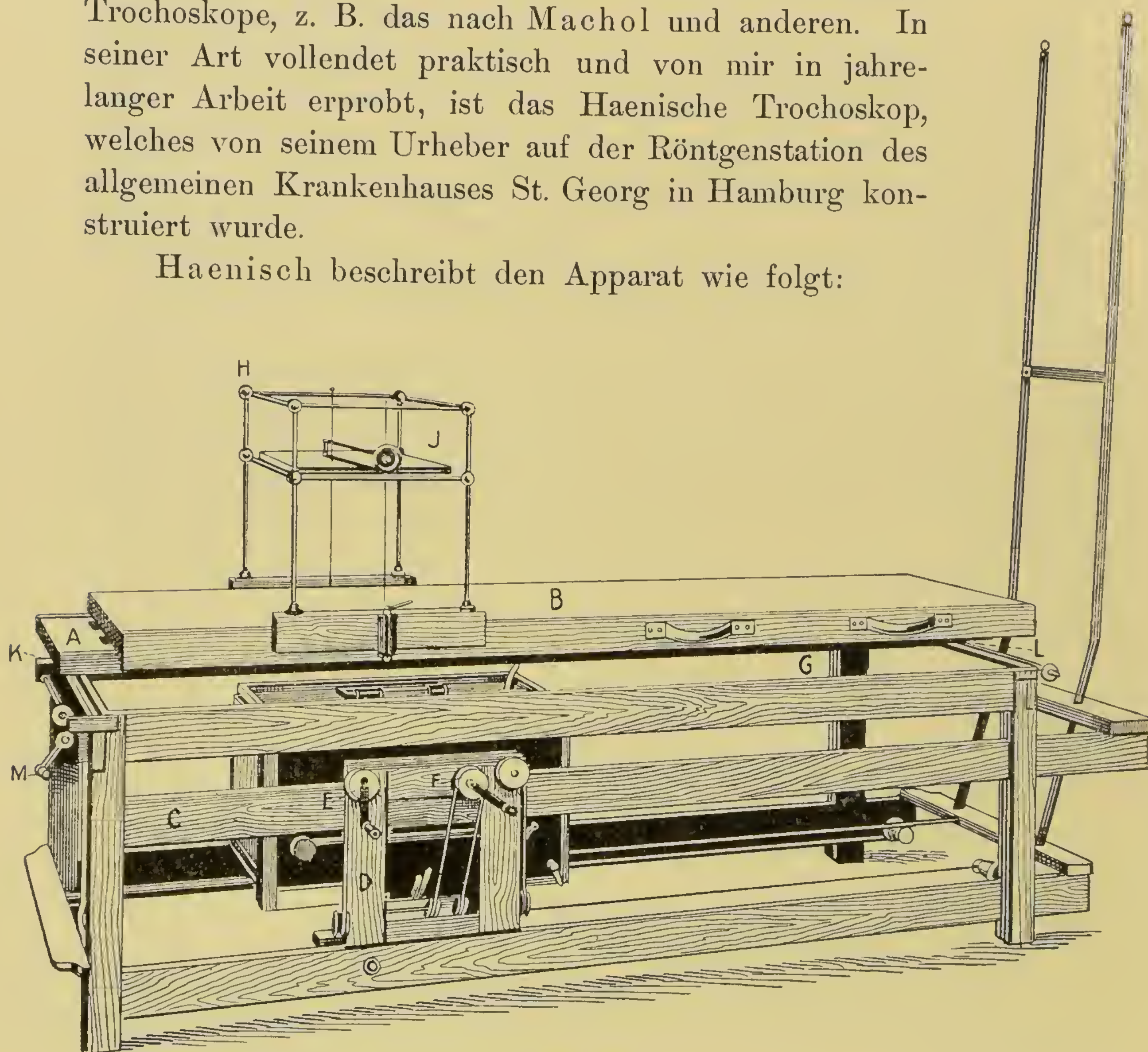


Fig. 187.

Trochoskop nach Haenisch

„Die Querleisten des Tischgestelles tragen Schienen, auf denen vermittelst kleiner Rollen ein die Stelle der Tischplatte vertretender Rahmen (*A*) läuft. Auf diesem ist ein zweiter, mit Segeltuch überspannter Rahmen angebracht, welcher auf dem ersteren in der Längsrichtung verschiebbar ist. Hierdurch ist also eine freie Beweglichkeit der den Patienten tragenden Unterlage nach allen Richtungen hin gewährleistet, so daß man mit der Tischplatte leicht und bequem kreisende Bewegungen ausführen kann. Auf den

Längsholmen (C, C') rollt ein kleines U-förmiges Wagengestell (D), welches die Blendenkiste trägt. Diese ist wiederum auf dem Wagengestell in der Querrichtung des Tisches verschiebbar, wodurch auch für sie die Möglichkeit der Bewegung in zwei aufeinander senkrechten Richtungen resultiert. Dadurch, daß die die Verschiebung der Röhrenkiste vermittelnden Kurbeln (E, F) an dem Wagengestell montiert sind, machen sie jede Bewegung der Kiste in der Längsrichtung mit, befinden sich also stets am

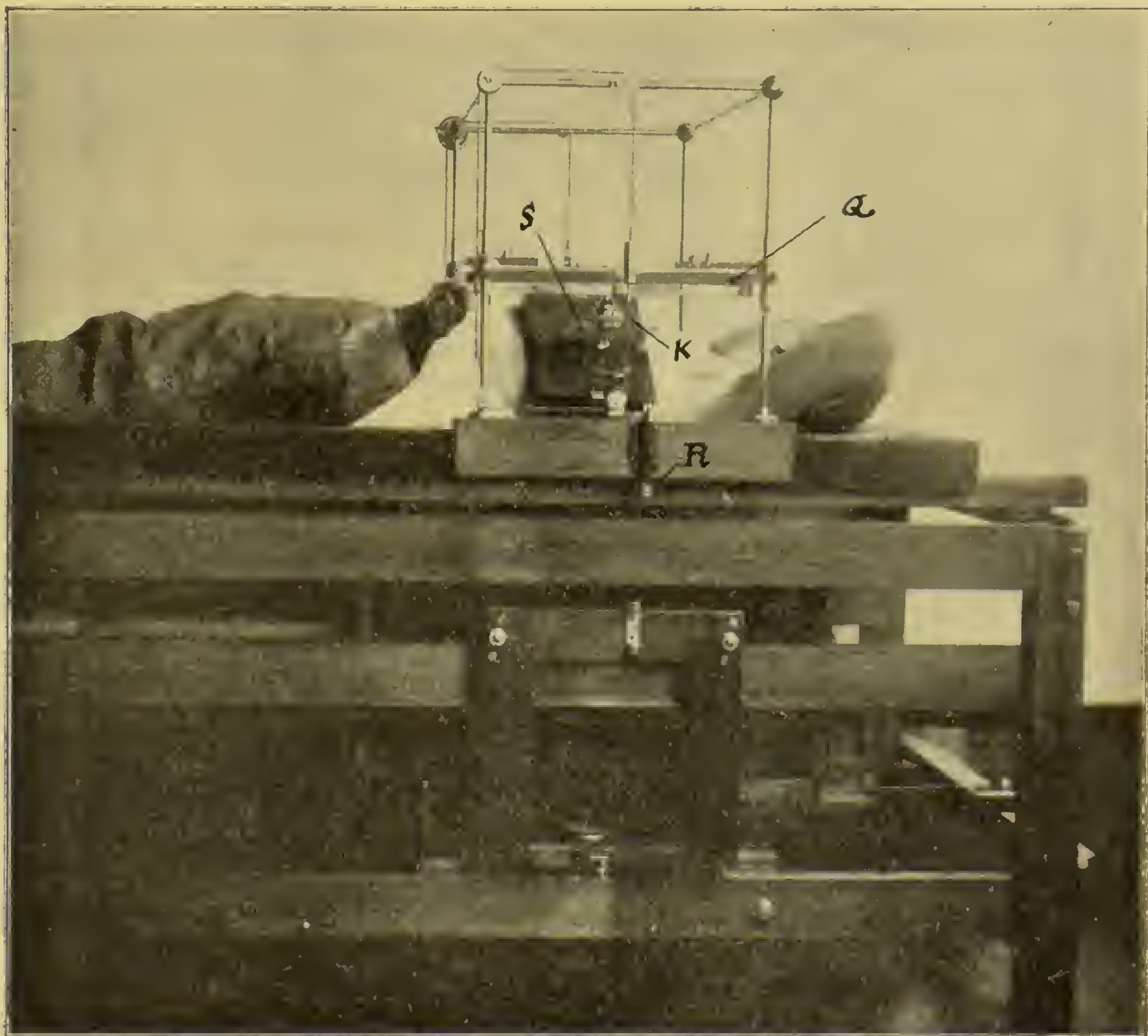


Fig. 188.

Standort des Untersuchers und können von diesem selbst bedient werden.

Der Deckel der Röhrenkiste ist mit einer rechteckigen Schiebeblende (siehe Seite 237) versehen, deren Weite durch zwei kleine Gewinde beliebig reguliert werden kann. Zur gelegentlichen Beobachtung der Röhre ist an einer Seite der Kiste ein Bleiglasfenster mit Spiegelvorrichtung eingelassen. Eine weitere Vorrichtung gestattet es, die Röhre während des Ganges von außen zu regulieren.

Im Inneren der Kiste befindet sich die Röntgenröhre, senkrecht unter dem Mittelpunkt der Blendenöffnung zentriert.

Die Zentrierung der Röhre wird außerhalb der Kiste in der üblichen Weise auf dem Röhrenbrett (Seite 265) vorgenommen; durch Hineineinschieben des die Lampe tragenden Brettes wird der Kontakt mit der Stromzuführung automatisch hergestellt. Je nach der Konstruktion des Röntgenrohrs kann das Brett in den Boden oder in den Deckel der Blendenkiste in Nuten eingeschoben werden. Die Hochspannungsdrähte sind so angebracht, daß jede zufällige Berührung mit ihnen ausgeschlossen ist.

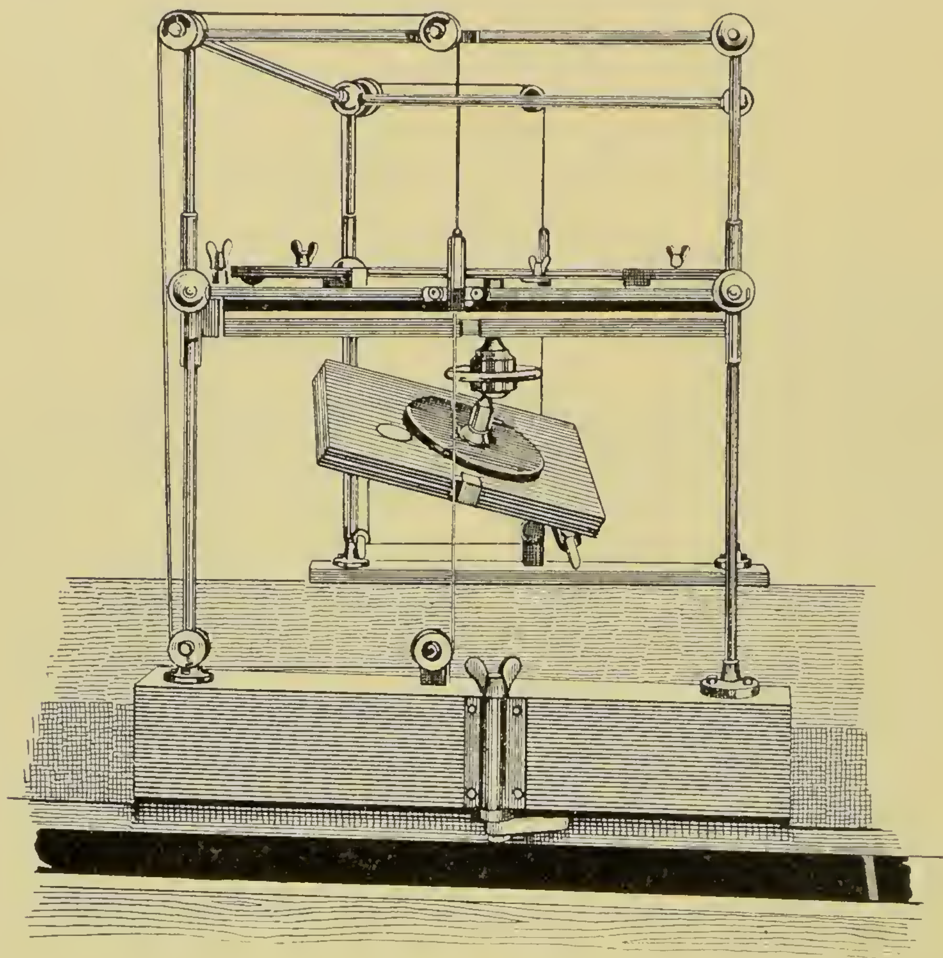


Fig. 189.

Das Trochoskop ist in dieser Form außerordentlich handlich und bietet vollkommen Schutz für den Untersucher.

Der Plattenhalter, welcher in Fig. 188 u. 189 abgebildet ist, besteht aus einem Gestell aus Metallröhren, zwischen welchen ein für die Aufnahme der Kassette bestimmter Metallbügel mittels Schrauben und Rollenübertragung hinauf- und hinuntergeführt werden kann. Schiebt man diesen Rahmen über den Patienten und klemmt ihn mit den an seinen beiden Seiten befindlichen Schrauben (*R*) am Tisch fest, so kann man die Platte beliebig stark auf den Körper

aufdrücken und hierdurch gewissermaßen eine Kompression ausüben. Auch die Anwendung von kleinen Platten ist mittels dieses Kassettenrahmens ermöglicht. An dem auf und nieder zu bewegenden Rahmen befindet sich ein leichtes Querholz (Q), welches durch ein abwärts gerichtetes Kugelgelenk (K) mit einer kleinen mit Gummi belegten Scheibe (S) verbunden ist. Durch eine Arretierung des Kugelgelenks kann man der Scheibe jede gewünschte Richtung geben. Sie dient also dazu, Plattenkassetten jeden beliebigen Formates an beliebige Stellen des Körpers in gerader oder schräger Richtung anzudrücken."

Trochoskop nach Gilmer

Außer dem Haenisch'schen Trochoskop hat auch der Untersuchungs- und Aufnahmetisch nach Gilmer vielfach Verwendung gefunden. (Fig. 190.)

Der Untersuchungstich besteht aus dem eigentlichen Tischgestell (G), dem Laufwagen (W), der Tragbahre (T), der einsetzbaren Segeltuchlagerstatt (S), dem Röhrenschutzkasten (R), dem abnehmenbaren Leuchtschirm- und Kassettenhalter (L).

Auf den Ecken des Tischgestelles, also über den Beinen des Tisches, sind geschliffene Kristallglasplatten angeordnet. Auf diesen vier Glasplatten liegt je eine gehärtete Stahlkugel von 20 mm Durchmesser. Den vier Glasplatten des Tischgestelles entsprechend, sind an dem Laufwagen (W) gleichgroße, geschliffene Kristallglasplatten angebracht. Es läuft also die Stahlkugel zwischen den geschliffenen Glasplatten. Der Laufwagen kann von einer Mittellage um je 25 cm verschoben werden, wodurch Exkursionen bis zu 50 cm möglich sind. Es kann somit durch Verschiebung des Laufwagens eine Fläche von 2500 qcm Punkt für Punkt belichtet werden.

Die Lagerstatt für den Patienten bildet der Segeltuchrahmen (S), der in der Tragbare (T) eingelegt wird. Die Tragbare hat vier einklappbare Traggriffe.

Um den Laufwagen (W) in einer beliebigen Stellung festhalten zu können, ist in der Mitte des Tisches ein Steigbügel (St) angebracht, der durch Hebelübertragung mit Platten, welche mit dickem Paragummi belegt sind, in Verbindung steht. Beim Niedertreten des Steigbügels werden die Gummiplatten an die gerauhte Holzfläche des Laufwagens gedrückt und halten diesen in jeder Lage absolut fest. Der Steigbügel wird durch Feder selbsttätig hochgezogen und gibt die Bewegung des Laufwagens dann frei.

Die Röhre ist in einem mit Bleiglasfenster versehenen, in der Längsrichtung des Tisches fahrbaren Schutzkasten untergebracht. Mit dem Schutzkasten ist fest und zur Röhre zentriert ein Leuchtschirmhalter, bzw. Kassettenhalter für photographische Platten,

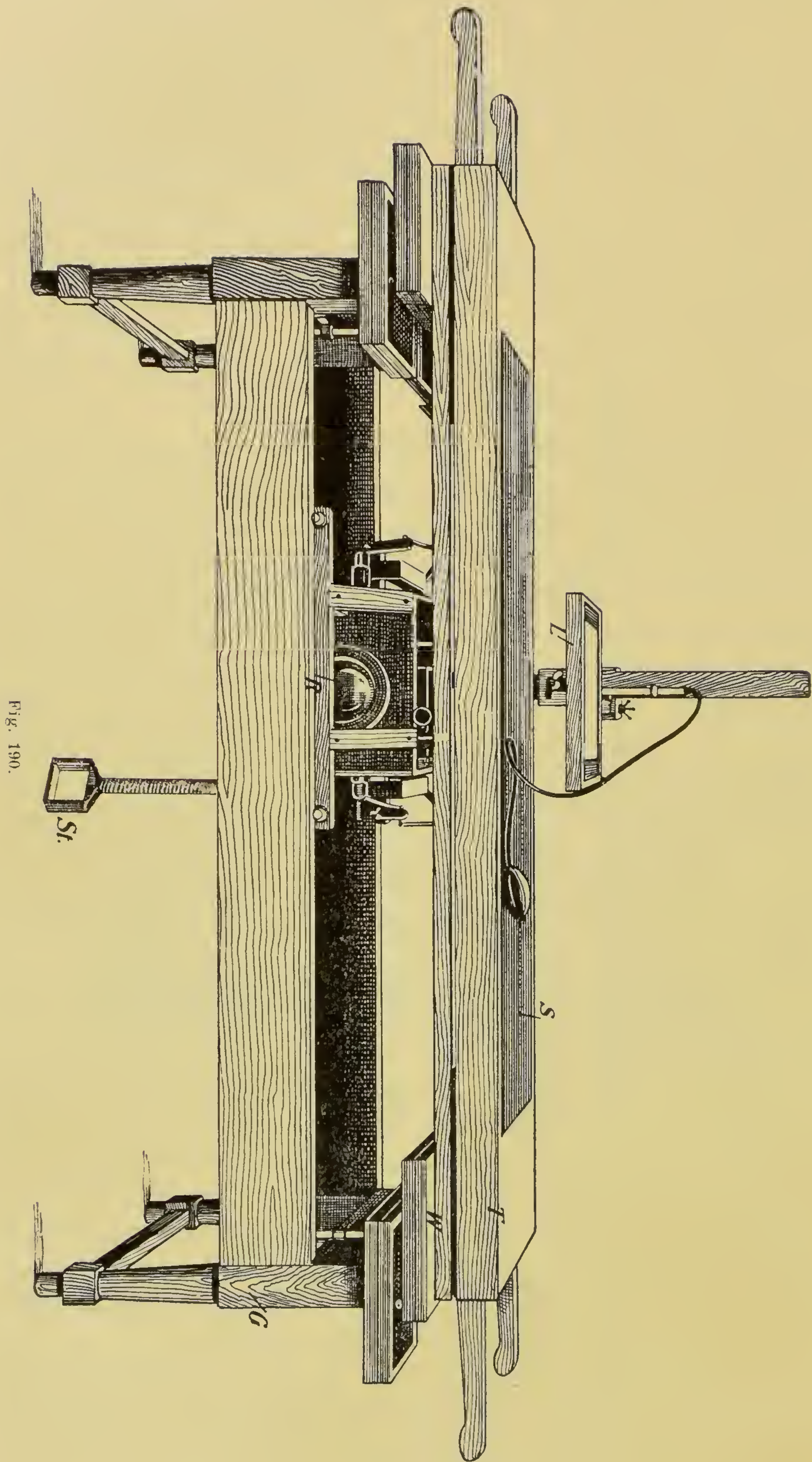


Fig. 190.

der je nach Dicke des Patienten in der Höhe verstellbar ist, verbunden.

Auf dem Schutzkasten ist eine auswechselbare Doppelwinkelblende montiert.

Die Stromzuführung ist absolut sicher, da die Röntgenröhre bei der Durchleuchtung feststeht.

Um den Tisch zum Aufzeichnen von Körpern in ihrer wahren Form und Größe benützen zu können, ist ein durchlochter Leuchtschirm, an dem eine pneumatische Punktiervorrichtung wie bei den Orthoröntgenographen anzubringen ist, erforderlich und somit ein direktes Zeichnen auf die Haut möglich. Die Verschiebung selbst des schwersten Patienten ist eine spielend leichte.

Durch Befestigung eines Blendkästchens an Stelle des Leuchtschirmes oder Aufsetzen irgendeiner Blende ist es leicht möglich, Aufnahmen mit dem Strahlengang von oben nach unten vornehmen zu können.[1])

II. Die Anwendung des Trochoskops.

Die hauptsächlichsten und wichtigsten Anwendungsgebiete für die Trochoskoptechnik sind:

1. die Aufnahmen und Durchleuchtungen in horizontaler Lage des Patienten,
2. die Röntgenkontrolle beim Eingipsen von Knochenbrüchen,
3. die Operationen (Fremdkörperentfernungen, Thoraxoperationen) im wechselnden Röntgen- und künstlichen Licht,
4. die Benutzung des Trochoskops für orthoröntgenographische Aufnahmen.

Die Aufnahmen des Thorax in Rückenlage des Patienten mit dorsoventraler Strahlenrichtung (reziproke Aufnahmen) haben großen Wert, wenn es sich um schwerkranke Patienten handelt, welche man ohne Gefahr nicht in die vertikale Stellung bringen kann. Auch Vergleichsdurchleuchtungen in vertikaler und horizontaler Position sind häufig besonders bei Herzuntersuchungen, bei Pneumothorax usw. von Bedeutung. Reziproke Aufnahmen

Die Aufnahmen im Sitzen, welche außer bei Momentexpositionen oft an dem Fehler leiden, daß durch Wackeln des Patienten Unschärfe in das Bild gebracht wird, kann man sehr zweckmäßig durch Trochoskopaufnahmen in horizontaler Lage ersetzen. Diese haben den Vorteil der absoluten Ruhelage des Patienten, infolgedessen auch die Platten überraschend schöne Resultate, besonders

[1]) Ausführlich beschrieben ist der Tisch im Band X 1906—07 der „Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen".

exakte Lungenzeichnung geben. Es lassen sich allerdings viele Aufnahmen aus diagnostischen Gründen besser in sitzender Stellung machen z. B. bei Exsudaten, Empyemen usw., da die darzustellenden Flüssigkeitsmengen bei horizontaler Lage des Kranken eine für die Aufnahme ungünstige Stellung im hinteren Pleuraraum einnehmen. Handelt es sich dagegen um Erkrankungen der Lungen, wie Herdbildung, Gangrän, Abszesse, Lungentuberkulose, Echinokokken, Fremdkörper u. dgl., so ziehe ich wegen der Schärfe der Bilder unbedingt die Horizontalaufnahmen den Vertikalaufnahmen vor.

Pneumothorax

Ich sah einen Pneumothorax, welcher, bei Vertikalstellung gesehen, wegen der eigentümlichen Form des Lungenstumpfes zu der Annahme eines Aneurysma der Aorta ascendenz hätte führen können. Die Untersuchung auf dem Trochoskop ließ die Diagnose sofort einwandfrei stellen.

Auch die Aufnahmen in schräger Richtung, wie sie bei Darstellung von Wismutausgüssen der Speiseröhre usw. erforderlich sind, geben in horizontaler Lage mittels der unten zu beschreibenden Technik vorzügliche Bilder. In den meisten Fällen wird man gut tun, horizontale und vertikale Durchleuchtungen zu machen, was ganz besonders bei Pneumothoraxuntersuchungen erforderlich ist, da man sich nur auf diese Weise vor Fehldiagnosen schützen kann.

Wir verfahren bei der dorsoventralen Horizontalaufnahme des Thorax folgendermaßen:

Der Patient wird vollständig flach auf die Segeltuchunterlage des Trochoskops gelegt und erhält zur Stütze des Kopfes ein kleines niedriges Kissen. Der Untersuchende steht seitlich neben dem Trochoskop und kommandiert von hier aus die Schwestern oder Assistenten, welche den Rheostaten bedienen. Nachdem verdunkelt worden ist, wird eingeschaltet und die Röhre in der Längsachse des Tisches so eingestellt, daß der Thorax vollständig auf dem Leuchtschirm erscheint, oder die zu untersuchende Partie wird mittels der oben beschriebenen Richtstäbe in die Lichtachse gebracht. Man hat nunmehr die Garantie, daß das Bild, wenn auch unrichtig in den Größenverhältnissen, so doch symmetrisch zur Mittellinie ausfallen wird. Während der Einstellung beachtet der Untersuchende gleichzeitig im Spiegel an der Kiste die Qualität der Röhre, welche sehr weich sein muß (W 4). Die Rippen sollen tiefschwarz im Durchleuchtungsbild erscheinen, ebenso das Herz und der Aortenbogen. Hat die Röhre eine härtere Qualität, so wird, bevor die Platte in das Untersuchungszimmer gebracht wird, mittels der Reguliervorrichtung der richtige Härtegrad hergestellt. Nach erfolgter Einstellung wird die Platte in dem Kassettenhalter über dem Patienten fixiert und zwar so, daß die Oberfläche der Kassette die Haut der Brust gerade berührt. Je nach der Sorte der zur Verwendung kommenden Platten

wird sich die Zeit der Exposition richten. Bei Lumière (Marke Sigma) wird 2—3 Sekunden und bei Benutzung von Schleußnerplatten 10—20 Sekunden Expositionszeit erforderlich sein. Wesentlich abgekürzt auf 1—$^{1}/_{10}$ Sekunden und weniger werden die Expositionen bei Benutzung der neuen Momentapparate. Will man die Aufnahme in Atemstillstand machen, wozu bei Lungenuntersuchungen unbedingt zu raten ist, so instruiere man den Patienten auf ein gewisses Kommando hin tief zu inspirieren und dann mit geöffnetem Munde, um Zwerchfellbewegungen auszuschalten, die Luft anzuhalten. Im Moment der vollendeten Inspiration gibt der Untersuchende das Kommando zum Einschalten. Nach Ablauf der vorher festgesetzten Expositionszeit unterbricht der vorher auf die beabsichtigte Zeit eingestellte automatische Ausschalter den Strom.

Atemstillstands-Aufnahmen

Wünscht man Schrägaufnahmen zu machen, so wird Patient in schräge Lagerung gebracht, wobei unter das der Tischplatte abgewandte Schulterblatt und unter das Gesäß je ein Sandsack geschoben wird. In dieser Lage kann der Kranke ohne sich zu bewegen verharren. Selbstverständlich können diese Schrägaufnahmen ohne Lagerungsveränderung des Patienten, allein durch Verschiebungen der Röhre nicht vorgenommen werden. Man erhält wohl Schrägansichten des Thorax aber nicht das helle Mittelfeld, auf welches es in der Mehrzahl der Fälle ankommt.

Die Durchleuchtungen des Thorax kann man in horizontaler Lage auf dem Trochoskop machen. Hierbei ist zu bemerken, daß die Schirmbilder ungleich schöner und heller sind als bei vertikaler Durchleuchtung. Dies erkennt man besonders an der hervorragend deutlichen Gefäßzeichnung. Man sieht, wie bei der tiefen Inspiration die Lungenarterien in ihrem Volumen anschwellen. Auch Sekundendurchleuchtungen mit den Momentapparaten und voller Belastung sind bei großer Vorsicht im Interesse der Röhren möglich. Man benutze stets den Momentausschalter, der vorher auf 1—2 Sekunden eingestellt ist, um nicht die weiche Röhre durch zu lange Exposition zugrunde zu richten. Die Schirmbilder sind von wunderbarer Schönheit und Klarheit.

Trochoskop-Skelett-aufnahmen

Aufnahmen von Skeletteilen lassen sich mit dem Trochoskop in geeigneten Fällen sehr gut herstellen. Zwar wird das Trochoskop nur in Ausnahmefällen zur Verwendung kommen, da fast alle Teile des menschlichen Skeletts bequemer und schneller mit der Kompressionsblende untersucht werden können. Ein Vorzug des Trochoskops vor der Kompressionsblende besteht indessen darin, daß man vor Beginn der Aufnahme die zu untersuchende Körperpartie ableuchten und durch richtige Einstellung

der Röhre die günstigste Position für die Aufnahme herausfinden kann. Zweckmäßig kann die Trochoskoptechnik bei Schädelaufnahmen angewendet werden, so z. B. bei Antrum- oder Stirnhöhlenaffektionen, bei welchen das Gesicht der Platte fest anliegen muß. Es ist indessen nicht zu bestreiten, daß bei Bauchlagen des Patienten und Anwendung der Kompressionsblende die Aufnahmen schärfer und kontrastreicher ausfallen, als auf dem Trochoskop, demnach wird dieses mit Vorteil dann angewendet, wenn es sich um Kranke handelt, denen man die Unbequemlichkeit der Gesichtslage nicht zumuten will. Alsdann wird der Kopf eingestellt und so eng abgeblendet wie möglich. Die Platte senkt man mit dem oben beschriebenen Plattenhalter auf das Gesicht und übt hier, je nach der Empfindlichkeit des Patienten einen mehr oder weniger starken Druck aus.

Kopf

Es sind dann die Beckenaufnahmen zu erwähnen, welche unter Umständen zweckmäßig auf dem Trochoskop mit dorsoventralem Strahlengange hergestellt werden. Man erkennt an der Hüfte arthritische Veränderungen am vorderen Pfannenrande besser als bei Aufnahme mit umgekehrtem Strahlengange. Auch bei Blasensteinen kann die Trochoskopaufnahme von großem Nutzen sein. Vorzüglich zu verwenden ist sie bei Kindern mit Wirbelsäulenerkrankungen (Gibbus), denen man eine Rückenlage auf der harten Platte nicht zumuten kann. Hier verfährt man so, daß man das Kind in Bauchlage auf das Trochoskop legt und die Platte leicht der Wirbelsäule anlegt. Sehr geeignet und den anderen Untersuchungsmethoden überlegen, ist, wie Haenisch gezeigt hat, die Trochoskoptechnik bei Untersuchungen der Clavicula sowie beim Nachweis von Frakturen und Infraktionen der Rippen in der Axillarlinie. Man verfährt in der Weise, daß man zunächst den schmerzhaften Punkt klinisch feststellt und ihn dann auf dem Leuchtschirm in die Lichtachse einstellt; hierbei wird die Blende so eng wie möglich genommen. Mittels des oben beschriebenen Kompressors wird, wie Fig. 188 zeigt, die Platte an die schmerzhafte Stelle angedrückt und nunmehr die Aufnahme gemacht.

Becken und Wirbelsäule

Rippenfrakturen in der Axillarlinie

Trochoskop Skelett-Durchleuchtungen

Einen hervorragenden Vorteil gewährt das Trochoskop bei Skelettdurchleuchtungen. Die richtige Einstellung z. B. bei Frakturen der unteren Extremität ist mit den anderen Methoden unter Umständen schwierig, bei Schwerverletzten oft gar nicht zu bewerkstelligen. Derartige Kranke werden auf das Trochoskop gelegt, mit wenigen Kurbeldrehungen ist die erkrankte Partie eingestellt und kann von verschiedenen Seiten durchleuchtet werden. Wenn man auch nicht imstande ist, in zwei aufeinander senkrechten Richtungen zu untersuchen, so genügen doch für die Diagnose

die schrägen Einstellungen in vielen Fällen vollkommen. Diese Bilder sind indessen häufig schwer zu deuten. Eine brauchbare stereoskopische Durchleuchtung, von welcher man sich für derartige Fälle viel versprechen dürfte, haben wir zurzeit noch nicht. Wir müssen daher auf dem erwähnten Gebiete das Trochoskop als das zweckmäßigste Instrument bezeichnen. Besonders hat sich diese Technik bei der Kontrolle von frisch eingegipsten Frakturen bewährt, ebenso bei der Entfernung von Fremdkörpern. Wendet man die später zu beschreibende Fremdkörperpunktion nach Perthes oder die Harpunierung nach Holzknecht an, so genügt eine geringe Drehung der Röhre, um festzustellen, ob die Punktionssonde mit dem Fremdkörper in Berührung gekommen ist oder nicht.

Kompressionsdurchleuchtungen

Wir müssen schließlich noch die Kompressionsdurchleuchtung mittels des Trochoskops, welche von Holzknecht und Robinsohn beschrieben wird, erwähnen. Die Autoren verfahren so, daß hölzerne Röhren von verschiedener Größe mit eingesetztem, entsprechend großem Leuchtschirm auf den betreffenden zur Untersuchung kommenden Körperteil eingedrückt werden. Das Bild, beispielsweise ein Fremdkörper in der Abdominalhöhle, erscheint dann mit zunehmendem Kompressionsdruck immer deutlicher auf dem Leuchtschirm. An Stelle des letzteren lassen sich Platten in diese Holzröhren hineinschieben, welche die röntgenographische Aufnahme des gesehenen Bildes gestatten. Für diese Technik empfehle ich die Kombination der Kompressionsblende mit dem Trochoskop und Einsetzen von Platten in die Kompressionszylinder. Das Verfahren der Kompressionsdurchleuchtung wird sein Hauptgebiet beim Nachweis von Fremdkörpern in der Bauchhöhle haben. Auch glaube ich, daß man auf diesem Wege vielleicht dem Gallensteinnachweis näher kommen könnte. Ob die Nierensteintechnik durch die Methode einen Nutzen haben wird, scheint mir zum mindesten zweifelhaft zu sein, da bei der Konstruktion des Apparates eine Kompression, welche in schräger Richtung unter dem Rippenbogen hindurchgeht, nicht möglich ist. Dazu kommt, daß wir mit der Kompressionsblendenmethode imstande sind, den Nachweis der Nierensteine genügend exakt zu führen.

Trochoskop-Orthoröntgenographie

Das Trochoskop eignet sich in hervorragender Weise als Orthoröntgenograph. Wie im Kapitel „Orthoröntgenographie“ beschrieben werden wird, verwende ich neuerdings fast ausschließlich das Spaltblendenverfahren. Um dieses auch beim liegenden Patienten anwenden zu können, bediene ich mich des Trochoskops in folgender Weise:

Der Patient wird auf den Untersuchungstisch genau horizontal gelagert, wobei darauf zu achten ist, daß beide Schultern der

Segeltuchunterlage fest anliegen; unter den Kopf bekommt er ein dünnes Kissen. Das verschiebbare Brett mit der Segeltuchunterlage wird zunächst in Mittelstellung, d. h. mit seiner Längsachse in die Längsachse des Tisches eingestellt, sodann wird die Röhre so unter den Rücken des Patienten zentriert, daß der senkrechte Röntgenstrahl durch den sechsten Brustwinkel geht. Zu dieser Zentrierung kann man sich entweder der verschiedenen Richtstäbe, welche am Trochoskop für diese Zwecke angebracht sind, bedienen, oder man stellt mittels der Blende einen Längsspalt ein, in welchem nach Einschalten der Röhre die Wirbelsäule erscheinen muß. Ist die Zentrierung erfolgt, so wird der Längsspalt der Blende, auf etwa ein Centimeter eingeengt und der Patient oder die Kistenblende mittels der, für diesen Zweck vorhandenen Kurbeln zunächst so weit nach links verschoben, daß die Herzspitze im Blendenspalt erscheint. Mittels Punktograph fixiert man den Apex cordis auf der Brusthaut und geht sodann mit dem Blendenspalt auf die rechte Seite des Patienten hinüber, bis die größte Exkavation des rechten Vorhofes im Blendenspalt erscheint. Auch dieser Punkt wird wiederum auf der Haut markiert. Je nach Bedarf kann man so die verschiedenen Punkte der Herzkontur auf die Brusthaut übertragen. Es ist jedoch darauf zu achten, daß der Längsspalt, mit welchem man die Herzkonturen ableuchtet, nicht zu lang ist. Man engt daher die Querblende so weit ein, daß man stets einen Überblick darüber hat, ob der zu übertragende Punkt auch genau in der Mitte des Längsspalts liegt.

Spaltblendenaufnahmen

Die Spaltblendenaufnahmen dienen der Übertragung des Herzbildes in natürlicher Größe auf die photographische Platte. Ebenso wie bei dem Verfahren bei sitzenden Patienten, läßt sich dieses mit dem Trochoskop bei liegenden Kranken erreichen. Man braucht nur an Stelle des Leuchtschirms in den Kassettenhalter eine Platte einzulegen, und dann entweder die Röhre unter dem Patienten mit eingeengtem Längsspalt zu verschieben oder bei feststehender Röhre mittels des beweglichen Lagerungsbrettes den Patienten langsam in seitlicher Richtung über die Lichtquelle zu schieben. Es kommt sehr darauf an, diese Spaltblendenaufnahmen, wenn irgend möglich, bei Atemstillstand zu machen, da andernfalls infolge der Verschiebung des Zwerchfells der Herzzwerchfellwinkel nicht genügend zum Ausdruck kommt. Dieser Punkt ist aber gerade für die Herzmessung von ausschlaggebender Bedeutung. Während früher die Spaltblendenaufnahmen häufig daran scheiterten, daß die Expositionszeit jedes einzelnen Teiles der Platte innerhalb des Atemstillstandes zu kurz ausfiel, kann man neuerdings mit den Apparaten für Momentaufnahme und Gehlerscher Folie (siehe

Kapitel 30) die Expositionszeit soweit herabsetzen, daß die Zeit des Atemstillstandes vollständig genügt, um ein deutliches Herzbild auf die Platte zu bringen. Dass die so gewonnenen Orthophotogramme nur in der queren Richtung genau sind, wird an anderer Stelle auseinandergesetzt werden. Die exakte Darstellung des Herzens in der Längsrichtung wird auf dem Trochoskop in gleicher Weise hergestellt, wie mittels der Durchleuchtungskiste beim sitzenden Kranken, d. h. mit Verwendung der Querblende und mit Verschiebung des Patienten oder der Lichtquelle in der Längsrichtung.

Gehlersche Folie

---

25. Kapitel.

Thoraxaufnahmen.

Die Weichteiluntersuchungen, zu welchen die Thoraxaufnahmen gehören, erfordern im allgemeinen keine wesentlich andere Technik als die Aufnahme von Skeletteilen, nur daß man Röhren, welche den entsprechenden Härtegrad haben, wählen muß. Die Indikation für diese Aufnahmen ist eine beschränkte, da wir hauptsächlich auf die Thoraxorgane angewiesen sind, denn von den Abdominalorganen ist mit Ausnahmen der Nieren, der Blase und eines Teils des Magens nur höchst selten (siehe Kapitel 28) und unter ganz besonders günstigen Umständen etwas zu differenzieren. So gelang es neuerdings Köhler deutliche Bilder der Leber herzustellen. Vor allen Dingen sind es die großen Gefäße und das Herz, ferner die Lungen, welche zu Aufnahmen Veranlassung geben.

Weichteil-untersuchungen

Leber-darstellung (Köhler)

Die Thoraxübersichtsaufnahmen geben von dem darstellbaren Inhalt der Brusthöhle im allgemeinen ein brauchbares Bild. Da die großen Gefäße und das Herz zwischen den lufthaltigen Lungen liegen, markieren sich die ersteren außerordentlich deutlich und prägnant, allerdings bei Zeitaufnahmen meist mit leicht verwaschenen Konturen, was seinen Grund in der Pulsation und Atembewegung der Organe hat.

I. Die Schlagader und das Herz.

Zur Diagnose der Gefäßaffektionen ist die Schirmuntersuchung viel wichtiger als die Fixierung auf der photographischen Platte. Dennoch gibt es eine Reihe von Fällen, in welchen man den auf dem Leuchtschirm gesehenen Befund auch röntgenographisch darstellen möchte.

Schlagader-untersuchung

Arteriosklerose der Aorta

Die Arteriosklerose der Aorta gehört zu denjenigen Erkrankungen der Brustorgane, die sich auf dem Leuchtschirm und mit dem photographischen Verfahren in überaus exakter Weise darstellen lassen. Wenn man von den Pulsationsverhältnissen absieht, so kann man die Hauptsymptome, welche wir auf dem Leuchtschirm diagnostizieren, ohne große Mühe auf die Platte bringen.

1. Die Formveränderung der Aorta.

Eine arteriosklerotisch veränderte Aorta zeigt in den meisten Fällen eine über das gewöhnliche Maß hinausgehende Länge. Schornsteinartig pflegt sie dem Herzschatten aufzusitzen und sich markant gerade nach oben zu erstrecken. Bisweilen dagegen zeigt der Schlagaderschatten eine stark ausgesprochene Krümmung nach links, so daß Dencke seine Form treffend mit einer Cooperschen Schere verglichen hat. Sieht man in der frontalen Durchleuchtung den Aortenschatten besonders deutlich oder erkennt man den ganzen Bogen und einen Teil der absteigenden Aorta bei dieser Strahlenrichtung, so kann man wohl in den meisten Fällen, in denen der klinische Befund mit der Röntgendiagnose im Einklang steht, eine arteriosklerotische Aorta annehmen.

2. Die Schattentiefe der Aorta.

Besonders charakteristisch ist bei arteriosklerotischen Schlagadern, namentlich, wenn sie Kalkeinlagerungen enthalten, die Schattentiefe des Gefäßes. Auch bei Anwendung von etwas härteren Röhren erscheint der Schatten dunkler, als man dieses in normalen Fällen wahrzunehmen pflegt. Der Herzschatten ist häufig im Gegensatz zur Norm weniger prägnant, als der Gefäßschatten; auch markieren sich bei Durchleuchtungen oder Aufnahmen im schrägen Durchmesser die Rippenschatten, welche über den Aortenschatten hinwegziehen, wenig oder gar nicht. Bei normalen Schlagadern erkennt man bei dieser Strahleneinrichtung die Rippen sehr gut über dem Gefäßschatten. In der sagittalen Richtung, sowie in der schrägen Durchleuchtug und Aufnahme wird man auch in den meisten Fällen von Arteriosklerose eine Differenz zwischen Wirbelsäulen- und Gefäßschatten wahrnehmen können. Bei Plattenaufnahmen kann man natürlich nur dann ein Urteil über die Absorptionsfähigkeit des Gefäßes abgeben, wenn diese in technischer Beziehung vollendet gut ausgefallen sind. Kalk lässt sich zurzeit noch nicht in der Aortawand nachweisen, ebensowenig, wie solches bei den manchmal sehr erheblichen Kalkablagerungen an den Herzklappen der Fall ist. Es liegt dieses an der durch die Pulsation

bedingte Bewegung der Gefäßwände, wodurch eine Verwischung der Konturen etwaiger Einlagerungen eintritt. Sollten die Momentaufnahmen des Thorax zu weiterer Vervollkommnung gelangen, so ist es wahrscheinlich, daß der Nachweis von Kalkplatten wird erbracht werden können.

Frontalaufnahmen der Aorta und des Herzens

Die Frontalaufnahmen von Holzknecht und Rieder regten mich zu dem Versuche, ebenfalls Frontalaufnahmen der Aorta zu machen, an. Ich muß indessen Rieder beistimmen, daß es nur ausnahmsweise gelingt, ein einwandfreies Bild zu erhalten, und zwar nur dann, wenn es sich um magere Personen handelt.

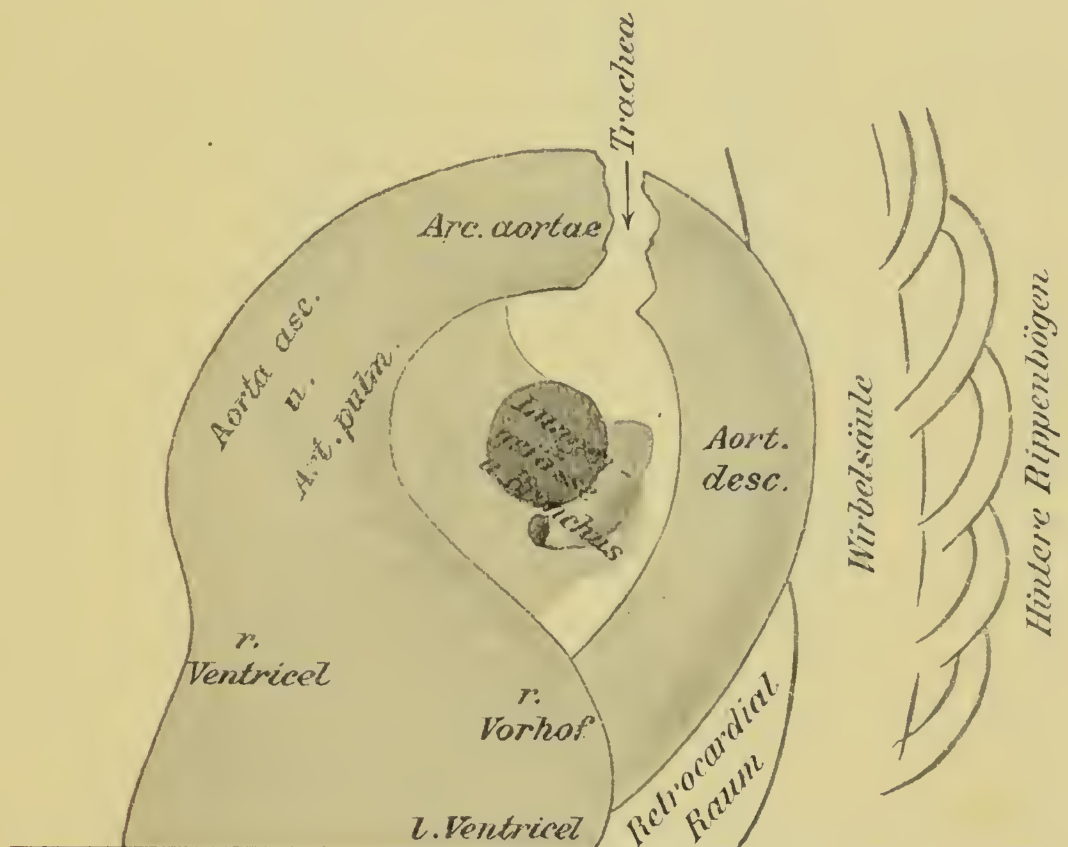


Fig. 191.

Ich habe auf der Röntgenstation des Allgemeinen Krankenhauses St. Georg in Hamburg, eine ältere, magere Frau, welche an einer Verkalkung der Aorta litt, untersucht. Schon bei dem Ventralbild fiel der stark hervortretende schwarze Aortenschatten auf. Man erkannte sehr gut den absteigenden Teil der Aorta als zart angedeuteten Bogen neben dem tiefen Gefäßschatten der Aorta aszendenz. Bei Drehung der Patientin nach rechts trat der Bogen der Aorta, sowie die Deszendenz, am deutlichsten bei fast frontalem Strahlengange hervor. In dieser Stellung wurde eine Aufnahme, welche in Fig. 191 skizziert ist, gemacht. Man sieht hier die Wirbelsäule mit dem hinteren Rippenbögen, ferner das Herz, den Schatten der mit der Arteria pulmonalis zusammenfallenden Aorta aszendenz, sowie den durch die Trachea unterbrochenen Bogen der Aorta und fast die ganze Aorta deszendenz bis hinab zur unteren Herzgrenze. Die Deutung der sichtbaren Herzteile dürfte nicht ganz leicht sein. Hinter dem Herzen erscheint der Retrokardial-

raum als helles Viereck. Auch die Lungengefäße und der Bronchus markieren sich scharf.

Ich möchte auf die Frontalaufnahmen der Aorta besonders hinweisen, denn es ist wohl nicht zu bezweifeln, daß für die Diagnose des Aortenaneurysma ein derartiges Bild von großem Wert sein kann.

Herzaufnahmen

Die Herzuntersuchungen bieten ebenso wie die der Schlagader eine Fülle von diagnostisch wertvollem Material. Hier wie bei der Aorta überragt die Schirmuntersuchung die Aufnahme an Wichtigkeit bedeutend. Es gibt indessen viele Fälle, namentlich Herzfehler, welche gerade durch die objektive Plattenaufnahme geklärt werden. Außerdem ist die Festlegung der beobachteten Erscheinungen für den weiteren Ausbau der Diagnostik von größtem Wert. Groedel hat eine Reihe von Herzfehlern röntgenographisch dargestellt und damit eine Basis geschaffen, auf welcher weiter gebaut werden kann. Die von ihm publizierten Herzfehlerbilder[1]) sind als Vergleichs- und Lehrmaterial unentbehrlich.

Auf guten, kurzzeitigen Herzbildern markiert sich die Systole und Diastole als Doppelkontur des linken Ventrikel. Oft läßt sich Herzspitze und Pericard deutlich voneinander unterscheiden. Die Zwerchfellkontur, sowie die Herzumrisse sind scharf gezeichnet, etwaige Infiltrationen der Lunge heben sich von dem Herz- und Gefäßschatten markant ab. Es ist bei Benutzung der alten Instrumentarien allerdings nicht in allen Fällen möglich, einen völligen Atemstillstand, auch nur für wenige Sekunden zu erzielen, denn kurzluftige Patienten werden schon vor vollendeter Exposition Atembewegungen, welche unter Umständen das ganze Bild verderben können, machen. Diesem Übelstand ist durch die Momentaufnahme so gründlich abgeholfen worden, daß man für die Thoraxaufnahme heute eigentlich nur noch die Momentapparate empfehlen kann. Ich übergehe daher die schwerfälligen älteren Aufnahmeverfahren, welche unter Zuhilfenahme von besonders empfindlichen Platten und den alten Schelit-Verstärkungsschirmen für die damalige Zeit respektabele Leistungen zu verzeichnen hatten, die aber gegenüber den modernen Errungenschaften, namentlich nach Einführung der Gehlerschen Folie, eigentlich nur noch historisches Interesse haben.

Für die Gefäß- und Herzaufnahmen kommen im allgemeinen bei Vertikalstellung des Patienten folgende ***5 typische Einstellungen*** in Betracht:

1. mit dorsoventralem Strahlengang (Fig. 192),
2. mit frontalem Strahlengang (Fig. 193),

---

[1]) Groedel, *„Röntgendiagnostik in der inneren Medizin"*, Lehmanns Verlag.

3. mit Strahlengang im I. schrägen Durchmesser (Fig. 194),
4. mit Strahlengang im II. schrägen Durchmesser,
5. mit ventrodorsalem Strahlengang.

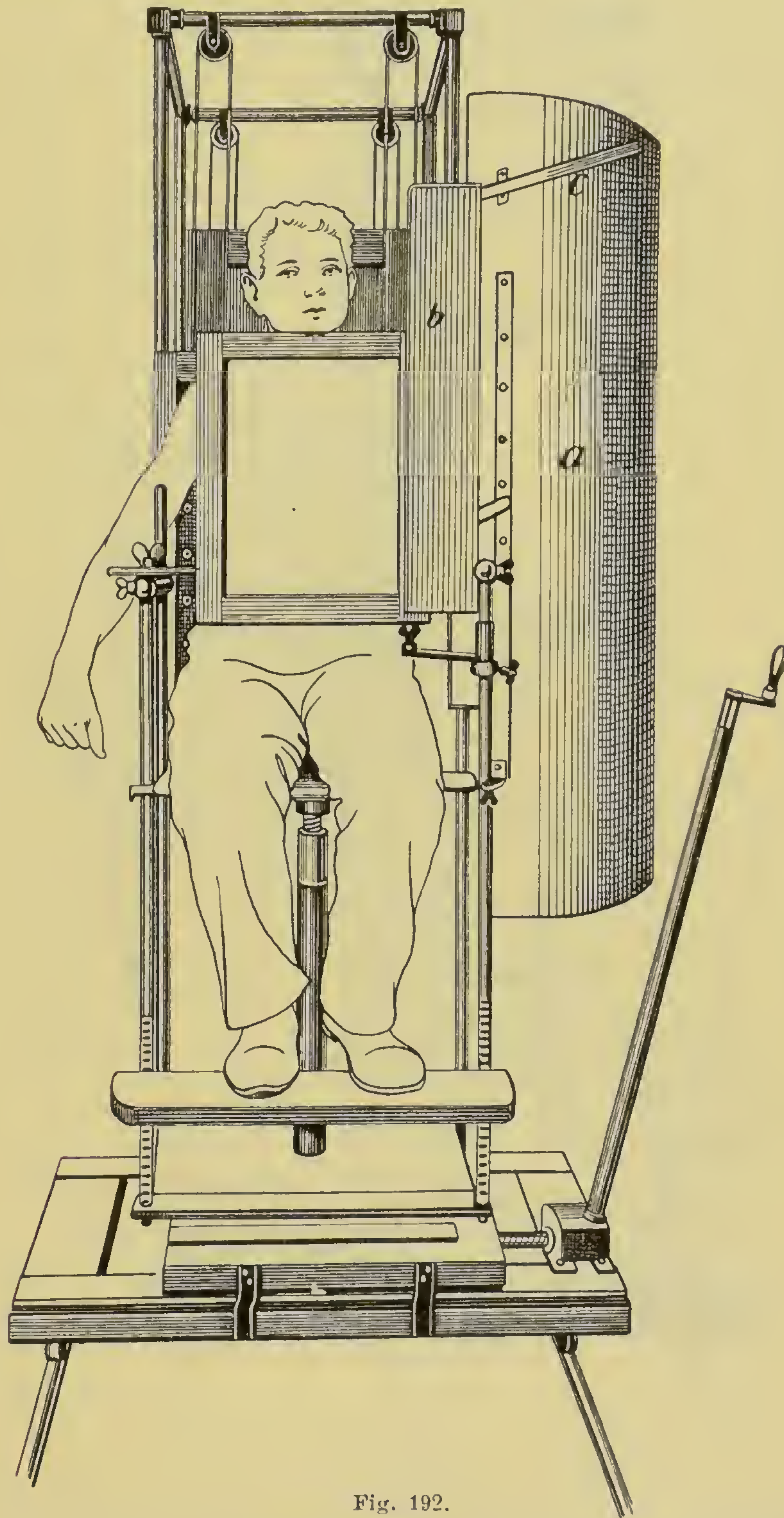


Fig. 192.

Dorsoventraleinstellung bei Gefäß-, Herz- und Lungenübersichtsaufnahmen und Durchleuchtungen.

Ergänzt werden diese Stellungen durch Aufnahmen in Horizontal- oder Seitenlage (cf. Seite 253).

Bezüglich der Technik der dorsoventralen und frontalen Aufnahmen ist folgendes zu erwähnen. Der Patient sitzt vor der Durch-

leuchtungskiste auf dem drehbaren Bock, dessen seitliche Lehnen so eingerichtet sind, daß mittels Schrauben ein die Platte oder den Leuchtschirm tragendes Stativ aufgesetzt werden kann (Fig. 192).

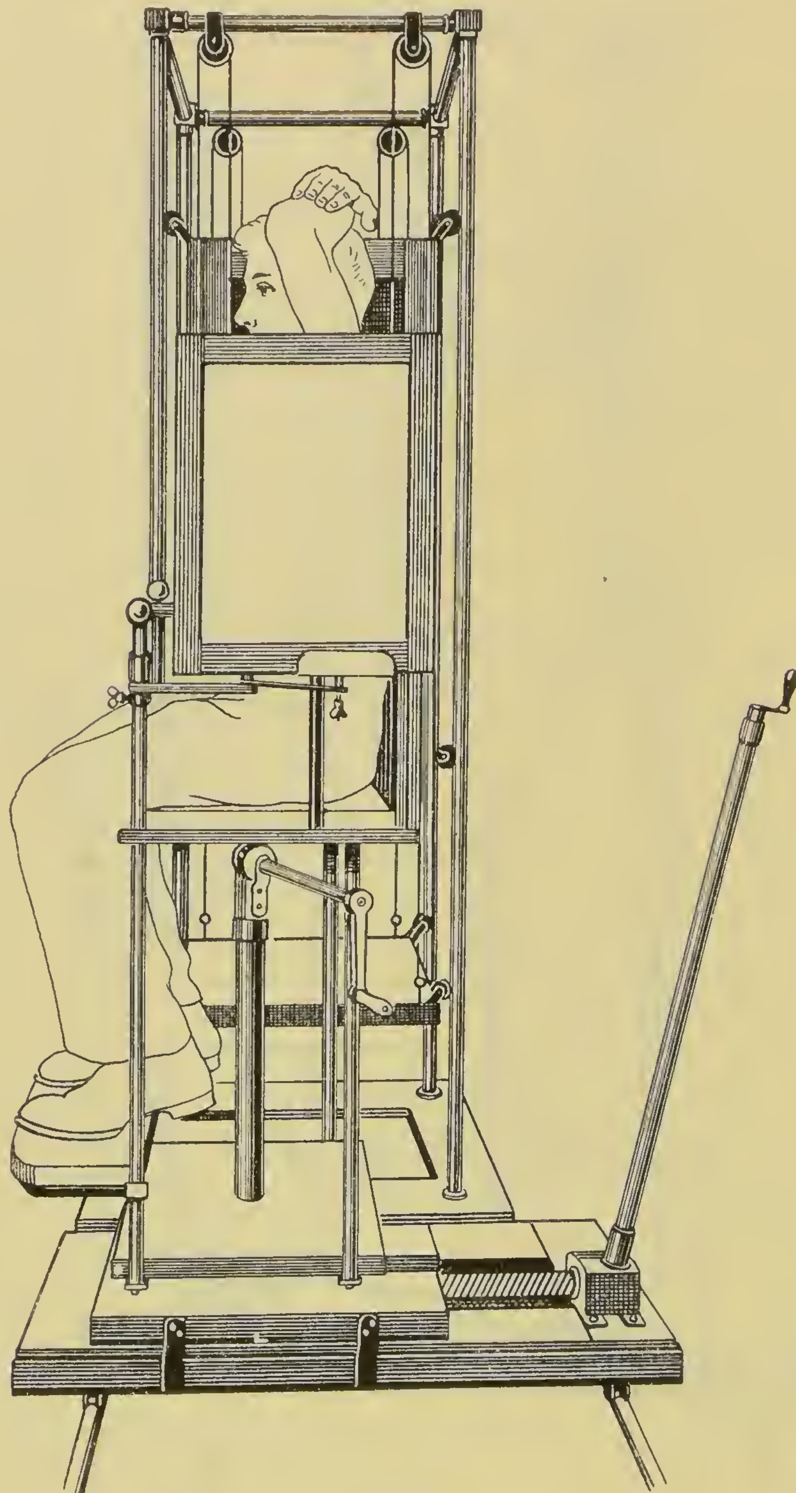


Fig. 193.
Frontaleinstellung bei Gefäß-, Herz- und Lungenübersichtsaufnahmen und Durchleuchtungen.

Die Arme werden bei der Frontalaufnahme (Fig. 193) über den Kopf gelegt. Die Einstellung erfolgt zunächst auf dem Leuchtschirm durch Drehung des Untersuchungsstuhles. Die Blende wird ebenfalls nach dem Leuchtschirmbilde bestimmt. Die Exposition wird man bei sagittalem Strahlengang und bei Benutzung der Moment-

apparate sehr kurz bemessen, ca. $1-\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{35}$ Sekunde und weniger. Je nach der Röhre erhält man schon mit dem Bruchteil einer Sekunde vollendet schöne Bilder. Bei Benutzung der Gehlerschen Folie läßt sich die Expositionszeit noch mehr, bis auf $\frac{1}{35}$ Sekunde und weniger abkürzen (vgl. das Kapitel 30). Bei frontaler Durchleuchtungsrichtung muß die Exposition erheblich verlängert

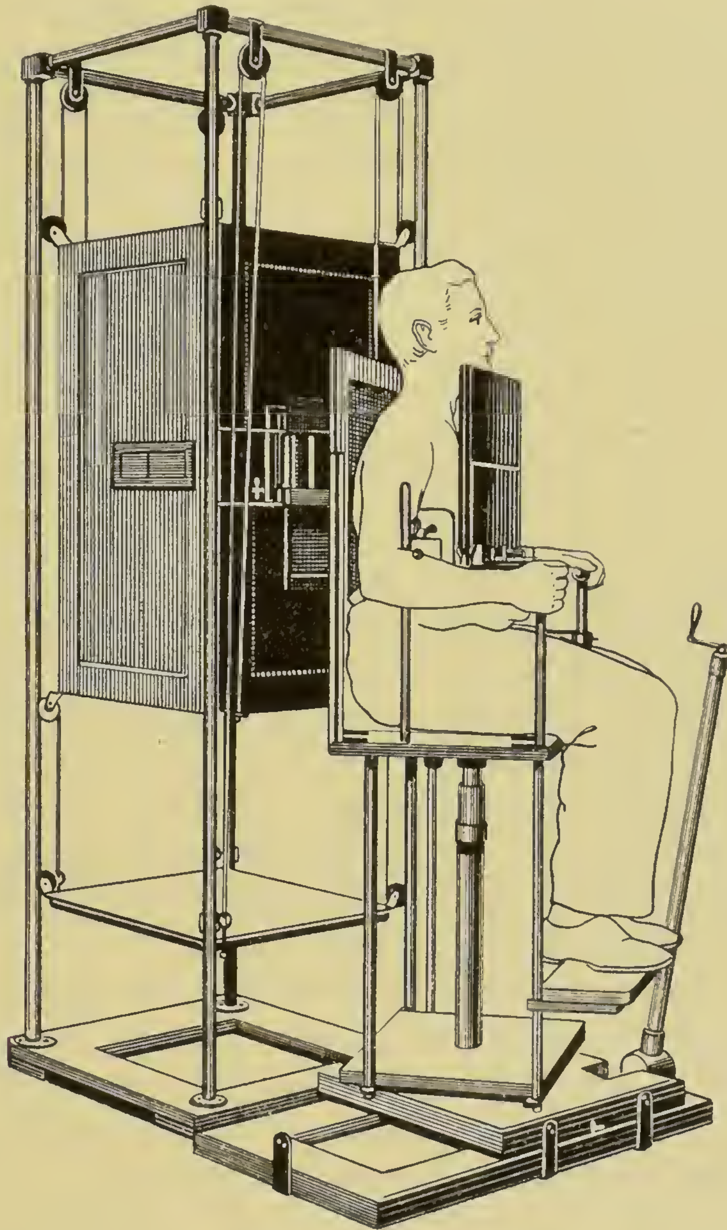


Fig. 194.
I. Schräger Durchmesser für Gefäß-, Herz-, Trachea- und Oesophagusaufnahmen und Durchleuchtungen.

werden, da verhältnismäßig große Körperpartien zu durchdringen sind. Der Atemstillstand ist für das gute Gelingen unter allen Umständen erforderlich. Man läßt den Patienten mit geöffnetem Munde, um Zwerchfellbewegungen zu verhindern, in tiefster In- oder Exspirationsstellung oder in einer Mittelstellung, je nach dem zu erreichenden Zweck den Atem anhalten und schaltet dann mittels

selbsttätigen Ausschalters, der vor Beginn der Aufnahme auf die nötige Expositionszeit eingestellt worden ist, die Röhre ein. Über die Belastung der Röhre ist alles Nähere im Kapitel „Momentaufnahme“ nachzulesen. Ob man bei dorsoventralen Aufnahmen Blenden anwenden will, richtet sich nach dem Zweck der Aufnahmen, für Darstellung der Aorta empfehlen sich dieselben, für Herzaufnahmen ziehe ich unabgeblendete Übersichtsaufnahmen vor.

Von größter Wichtigkeit ist für die Schlagaderuntersuchungen die Aufnahme im ersten schrägen Durchmesser d. h. von *links hinten* nach *rechts vorne*. Wir erhalten das bekannte bei der Trachea- und Oesophagusuntersuchung noch näher zu besprechende Bild. Der Wirbelsäulenschatten weicht nach rechts, der Gefäßschatten nach links in die Thoraxhöhle und zwischen beiden erkennen wir das helle Mittelfeld, in welchem Oesophagus und Trachea verlaufen. Je nach der Form, welche die Aorta bei dieser Durchleuchtungsrichtung zeigt, richtet sich die Diagnose. Die Verbreiterung, die Kolbenform des Schattens, die konzentrische Pulsation, die Verlagerung, die Schattentiefe sind Punkte, auf welche genau zu achten ist.

Schräger Durchmesser

Die Aufnahme und die Durchleuchtung wird, wie in Fig. 194 abgebildet, hergestellt. Der Grad der Drehung wechselt je nach dem anatomischen Bau des Brustkorbes. Bisweilen genügt eine geringe Drehung, um das helle Mittelfeld frei zu machen, bisweilen gelingt es überhaupt nicht, dieses zu erreichen. Ist die Einstellung gelungen, dann wird die Blende soweit eingeengt, daß nur die Aorta, das helle Mittelfeld und die Wirbelsäule im Strahlengebiete liegen. Atemstillstand ist hier nicht erforderlich. Die Exposition kann sehr kurz, nach Sekunden bemessen werden.

In einzelnen Fällen kann auch der zweite schräge Durchmesser d. h. von *rechts hinten* nach *links vorne* in Betracht kommen. Man verfährt alsdann nach Drehung des Patienten in der gleichen Weise.

Schließlich kommt für Aufnahme und Durchleuchtung auch noch die ventrodorsale Richtung in Betracht. Im allgemeinen stehen diese Bilder den dorsoventralen an diagnostischer Bedeutung, wenigstens bei der Untersuchung der Gefäß- und Herzkrankheiten, nach. Wichtig sind sie bei der Untersuchung von Pneumonien, wo es sich um Beobachtungen von auftretenden und sich lösenden Lungeninfiltraten handelt. Die Monographie von Jacksch und Rotky[1]) mag für das Studium dieser Verhältnisse besonders empfohlen werden. Technisch bietet die Aufnahme keine Schwierigkeiten. An Stelle der herausnehmbaren Stuhllehne wird der Leucht-

[1]) Band 19 des Archivs der normalen und pathologischen Anatomie in typischen Röntgenbildern.

schirm oder die Plattenkassette gesetzt und der Patient dann mit dem Gesicht gegen die Bleikiste gedreht. Exposition und Röhrenbehandlung sind die gleichen wie oben beschrieben.

Unter Umständen kann es von diagnostischem Interesse sein, den Patienten zur Aufnahme oder Durchleuchtung der Lichtquelle zu nähern oder von ihr zu entfernen. Dieses wird leicht durch Fortrollen oder Heranrollen des auf Schienen laufenden Stuhles (Fig. 192 und 193) erreicht. Über die teleröntgenographischen Aufnahmen berichte ich in dem betreffenden Kapitel.

Für Gefäß- und Herzuntersuchung sind die vertikalen und horizontalen Aufnahmen als gegenseitige Ergänzung von gleichgroßem Wert. Man sollte niemals unterlassen, beide auszuführen, einerlei, ob hierdurch mehr Zeit und Platten verbraucht werden. Bezüglich der horizontalen Untersuchungen verweise ich auf das im Kapitel „Trochoskop“ Gesagte.

II. Lungenaufnahmen.

Neuerdings wendet sich die Aufnahmetechnik wieder ganz besonders den Lungenuntersuchungen zu und mit Recht, denn der diagnostische Weg guter Lungenröntgenogramme ist für lungenchirurgische Zwecke nicht zu bestreiten.

Der röntgenographischen Untersuchung von Phthisikern ist, wie die Arbeiten vieler Autoren zeigen, eine große Bedeutung beizumessen, denn sie ergänzen die üblichen physikalischen Methoden und sind ein sehr wertvolles Kriterium der letzteren. Wenn es sich um die Entscheidung der Frage, welche Teile des Lungengewebes noch lufthaltig und welche bereits infiltriert sind, handelt, geben namentlich die Übersichtsaufnahmen einen übersichtlicheren Eindruck als die Perkussion und Auskultation. Letztere beiden Methoden lassen keine einwandfreie Untersuchung der zentralen Lungenpartien zu, infolgedessen wird man mit ihnen im allgemeinen optimistischere Resultate als mit der Röntgenmethode erhalten. Welche Bedeutung der Röntgenographie der Lungenspitzen zum Zweck der Frühdiagnose einer beginnenden Tuberkulose zukommt, haben die Verhandlungen des *IV. Kongresses der Deutschen Röntgen-Gesellschaft* gezeigt. Auf das Nähere werde ich weiter unten eingehen. Lungenaufnahmen

Die richtige Deutung der Platten wird dem Anfänger manche Schwierigkeiten machen, da die normalen Bronchien und Gefäße ganz bestimmte Zeichnungen bedingen, welche leicht mit pathologischen Prozessen verwechselt werden können. Es gehört nicht in den Rahmen dieser Darstellung, auf die Diagnostik ausführlicher als

nötig einzugehen, es soll hier nur die Technik der Lungenaufnahmen besprochen werden. Jedoch möchte ich nicht versäumen auf die älteren Arbeiten von de la Camp und auf die neueste Arbeit von Fraenkel und Lorey über das anatomische Substrat der normalen Lungenzeichnung hinzuweisen.

Die Lungenübersichtsaufnahmen fallen meist gut aus. Sie interessieren uns besonders dann, wenn es sich um tuberkulöse Prozesse in den Lungen, Gangrän, Abszesse und Pneumothorax, Tumoren u. a. m., handelt, deren Darstellung sehr schön möglich ist. Besonders gut markieren sich verkalkte Lungenpartien, da die Kalkplättchen als helle, weiße Flecke im dunklen Lungenschatten liegen. Aber auch diffuse, tuberkulöse Infiltrationen, sowie peribronchitische Herde, ferner Bronchialdrüsen kann man auf der Platte recht gut erkennen.

Die Technik der Übersichtsaufnahmen weicht in nichts von der oben beschriebenen Gefäß- und Herzaufnahme ab. Sowohl vertikale wie horizontale Aufnahmen sind je nach dem zu erreichenden diagnostischen Zweck erforderlich. Auch hier kommen wieder die Aufnahmen vor der Durchleuchtungskiste und auf dem Trochoskop (siehe daselbst) in Betracht. Der Erfolg beruht, wie am anderen Orte (Momentaufnahme) beschrieben, auf der Wahl der richtigen Röhre.

Lungenspitzenaufnahme.

Die Durchleuchtung kann nur in vereinzelten Fällen ein abschließendes und einwandfreies Resultat ergeben. Sie kommt ihrer Ungenauigkeit wegen praktisch nicht in Betracht, dagegen ist sie als Hilfsuntersuchung zur Kontrolle der Hilusdrüsen, des Williamschen Symptoms usw. von Bedeutung.

Lungenspitzenaufnahmen

Die Aufnahme auf der photographischen Platte steht der Perkussion ebenbürtig gegenüber, der Auskultation ist sie im Anfangsstadium, dem Katarrh der Spitzen, unterlegen. Den augenblicklichen Stand unseres röntgenologisch-diagnostischen Könnens möchte ich dahin zusammenfassen, daß wir den Katarrh überhaupt nicht, kleine Infiltrationsherde dagegen schon zu einer Zeit nachweisen können, zu welcher sie sich der Perkussion absolut, der Auskultation in sehr vielen Fällen entziehen. Es ist also mit der Röntgenuntersuchung viel gewonnen, denn in zweifelhaften Fällen kann sie den Ausschlag geben. Ich konnte vermittels dieser Aufnahmen bei Benutzung weicher Röhren beginnende Spitzenaffektionen zu einer Zeit, wo klinisch noch kein Befund zu erheben war, nachweisen. Der spätere Verlauf bestätigte

dann die Diagnose. Da die richtige Ausführung des Verfahrens schwierig ist, so ist auch die Zahl der Fehlerquellen groß; es müssen also die höchsten Anforderungen an ein Lungenspitzenbild gestellt werden. Auch bei einer völlig gelungenen Aufnahme muß man sich bewußt sein, daß Verdichtungsherde durch irgendwelche Zufälligkeiten dem Nachweis entgehen können. Eine klinisch gut fundierte Diagnose darf demnach durch ein negatives Röntgenogramm nicht umgestoßen werden, ebensowenig ist man berechtigt, unter Berücksichtigung der Fehlerquellen, bei einem klinisch negativen Falle, auf Grund irgendwelcher Trübungen des Spitzenbildes eine beginnende Lungenaffektion zu diagnostizieren. Hieraus ergibt sich, daß die verschiedenen klinischen Untersuchungsmethoden und die Röntgenuntersuchung einander unterstützen und ergänzen. Unter Berücksichtigung des vorstehend Gesagten ist die große Bedeutung des Röntgenverfahrens für die Frühdiagnose der Lungenschwindsucht und die für spätere Nachuntersuchungen und aktenmäßige Festlegung eines Spitzenprozesses wohl zu würdigen. Eine Entscheidung darüber, ob die in den Spitzen gefundenen pathologischen Schattenbildungen frischen oder ausgeheilten Infiltraten entsprechen, oder ob es sich um schieferige Induration, oder um Schwielen und geschrumpfte Herde handelt, gibt das Verfahren in den meisten Fällen nicht, da man eben nur Schattendifferenzen zwischen lufthaltigen und luftleeren Geweben darstellen kann.

Zu einer vollständigen Lungenspitzenuntersuchung gehört als Voruntersuchung die Durchleuchtung. Der Kranke kann entweder in sitzender oder in liegender Stellung röntgenoskopiert werden, wobei in erster Linie auf das Verhalten der Hilusschatten zu achten ist. Mit einer etwa 1 cm weiten Längsblende sucht man den linken und rechten Hilus sorgfältig nach Drüsen ab. Eine runde Blende empfiehlt sich nicht, da sie keinen genügenden Überblick bei enger Abblendung gewährt. Will man den Kranken im Liegen untersuchen, so ist hierzu das Trochoskop, welches ebenfalls mit einer Längsblende ausgestattet sein muß, zu empfehlen. Nächst der Untersuchung der Hilusdrüsen ist auf die Bewegung des Zwerchfells während der Atmung zu achten, um das eventuell vorhandene Williamsche Symptom festzustellen. Letzterem kommt eine gewisse Bedeutung zu, da es in einem Drittel der Fälle, wie de la Camp, Krause und andere nachgewiesen haben, zu beobachten ist. Auch die Transparenz des gesamten Lungengwebes auf dem Leuchtschirm muß untersucht werden, da die klinisch diagnostizierte Lungenspitzenaffektion in manchen Fällen bereits auf größere Bezirke der Lunge übergegangen sein kann, ohne daß dieses sich bisher bemerkbar gemacht hätte.

Für die röntgenographische Aufnahme wird der Patient in Rückenlage gebracht und unter den Oberkörper ein flaches Keilkissen geschoben. Nach vielen Versuchen habe ich diese Lage als

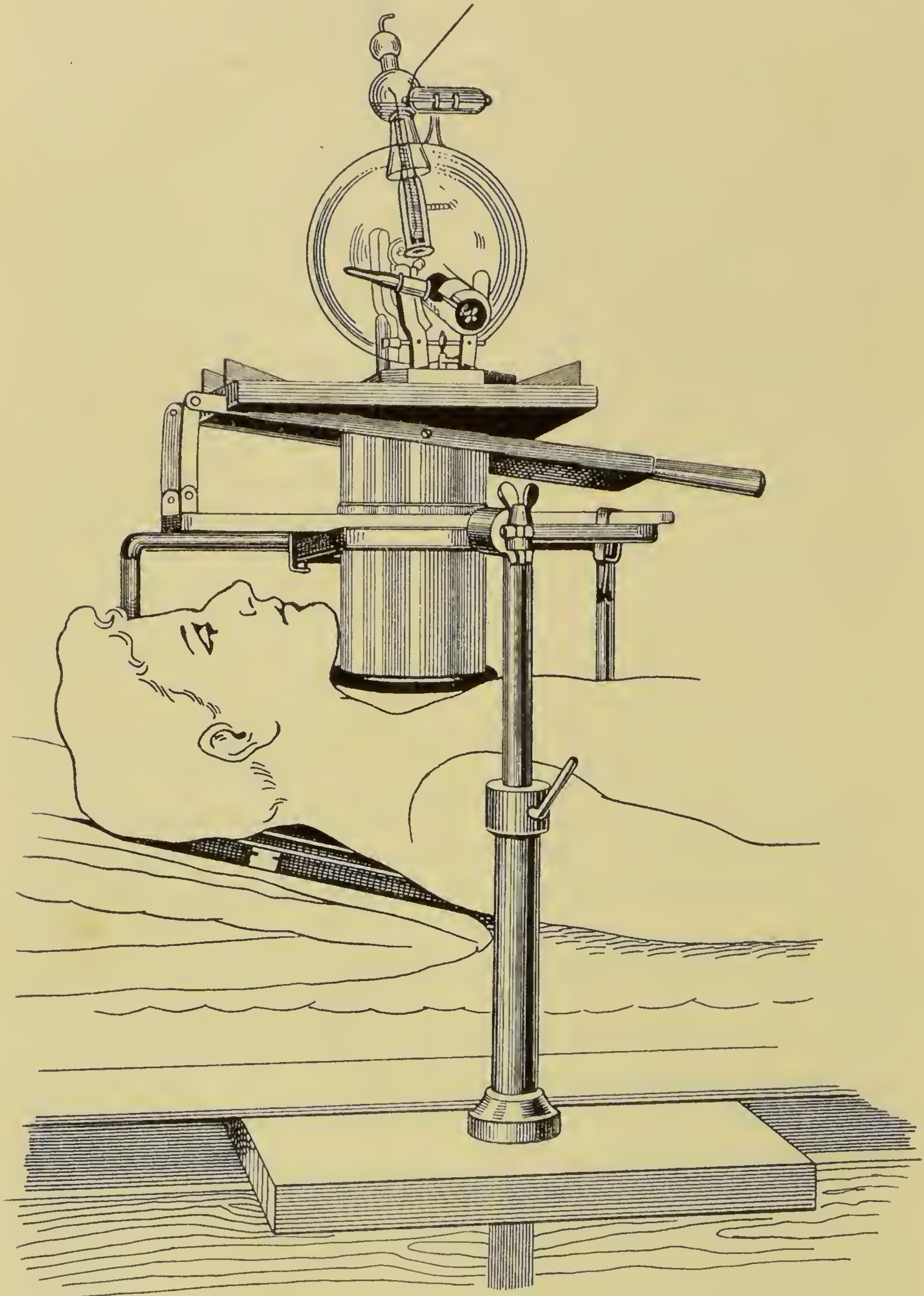


Fig. 195.

die praktischste befunden, da man bei ventrodorsaler Durchstrahlung den ersten, resp. zweiten Interkostalraum am besten darstellen kann. Auch ist zu bedenken, daß die beginnende Tuber-



Fig. 1.



Fig. 2.



kulose im Bereich des hinteren oberen Spitzenbronchus liegt (Birch-Hirschfeld), daß also diese Gegend der Platte ganz besonders genähert werden muß. Nicht in allen Fällen wird es indessen gelingen, bei der ventro-dorsalen Strahlenrichtung den ersten Interkostalraum auf die Platte zu bekommen, denn oft decken sich die erste und zweite Rippe, wodurch die obere Spitzengrenze, welche genau bis an den Hals der ersten Rippe reicht, in den Rippenschatten hineinfällt. Unter Umständen kann man mit Vorteil die Arme über den Kopf erheben lassen, wodurch der erste Interkostalraum bisweilen frei wird. Ich habe mit Adam und anderen eine große Anzahl von Versuchen angestellt, um durch Veränderung der Lagerung, sowie durch Änderung der Strahlenrichtung eine Einstellung ausfindig zu machen, bei welcher der erste Interkostalraum mit Sicherheit dargestellt werden kann. Es ist mir dieses indessen nur bisweilen (Tafel XII, Fig. 1) gelungen und ich bin daher bei der Rückenlage mit mäßig erhobenem Oberkörper als der zurzeit besten geblieben, im übrigen reicht für die Diagnose ein gut dargestellter zweiter Intercostalraum (Tafel XII, Fig. 2 und XIII, Fig. 1) fast immer aus.

Die Zylinderblende (13 cm Durchmesser) wird entweder senkrecht (Fig. 195) zur Tischplatte oder leicht kephal- (Fig. 196) oder kaudalwärts (siehe Fig. 145, S. 399) geneigt, so auf den Hals gesetzt, daß das erhobene Kinn sich gegen den äußeren Zylindermantel aufstützt. Die Frage, ob der Zylinder kaudal- oder kephalwärts zu neigen ist, richtet sich nach der anatomischen Beschaffenheit des Thorax und ist experimentell von Fall zu Fall zu entscheiden. Durch diese Einstellungen werden die Schlüsselbeine kaudalwärts projiziert und die Lungenspitzen selber, so weit es möglich ist, vom Rippenschatten frei gemacht. Die Blende ist so eng zu wählen, daß auf der fertigen Platte beide apices zu sehen sind; hierbei ergibt sich von selbst, daß auch ein Teil der beiden Oberlappen, sowie die Schlüsselbeine auf die Platte kommen. Mit dem Kompressionszylinder soll kein Druck auf den Thorax ausgeübt werden, er wird vielmehr lose, ohne Kissenzwischenlage, auf die Haut aufgesetzt, um die Atembewegungen des Kranken nicht zu behindern.

Der wichtigste Punkt für das Gelingen der Aufnahme ist die Wahl der richtigen Röhre, je neuer und weicher diese ist, um so schöner fallen die Bilder aus. Man wird die besten Resultate erzielen, wenn man eine Röhre von der Qualität nimmt, wie man sie bei Handaufnahmen zu benutzen pflegt. Der Atemstillstand ist für Spitzaufnahmen nicht nötig; bei ruhiger Respiration erhält man eine durchaus scharfe Lungenzeichnung. Es ist dieses ein Beweis dafür, daß sich die Lungenspitzen, wie auch klinisch angenommen wird

(Ewald), respiratorisch nicht, oder nur sehr wenig bewegen. Der Rippenhals der ersten Rippe, welcher die höchste Spitze der Lunge nach oben begrenzt, führt nach Goldscheider inspiratorisch eine

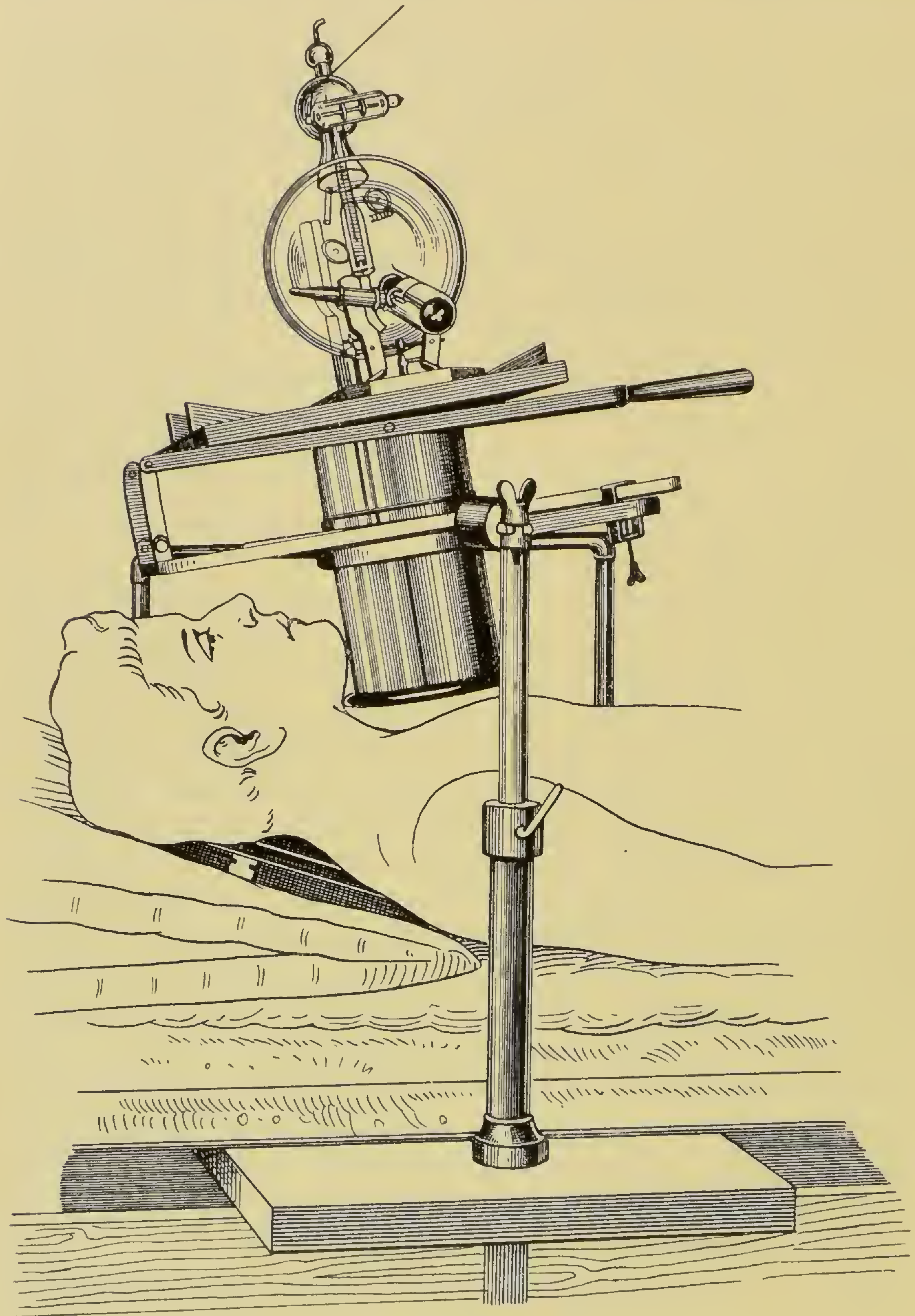


Fig. 196.

Drehbewegung aus, infolgedessen sich die Lunge eventuell in seitlicher Richtung, aber nicht nach oben, verschieben kann. Unter Verzicht auf den Atemstillstand ist die Exposition nicht zu kurz zu

bemessen, eine halbe bis eine Minute bei Benutzung von Schleußnerplatten dürfte das richtige sein. Das Momentverfahren hat sich für Lungenspitzenaufnahmen nicht bewährt, da die vollendet gute Qualität eines durchgearbeiteten Bildes, wie solches unerläßlich ist, nur bei längerer Belichtung erzielt werden kann. Will man im Atemstillstand untersuchen, so empfehlen sich die Lumièreschen Platten, für welche eine Exposition von 10—15 Sekunden genügt. Nach dem Vorschlag von Rzewusky in Davos kann man den Patienten Sauerstoff einatmen lassen, wodurch sich ein sehr langer Atemstillstand erzielen läßt. Bei der Wichtigkeit der Diagnose sollte man stets zwei Aufnahmen mit verschieden bemessener Expositionszeit machen; durch den Vergleich der beiden Platten wird die Beurteilung bedeutend erleichtert. Die Entwicklung findet in der üblichen Weise statt, wobei man von Verstärkungen der Platte abzusehen hat. Verfahren Rzewusky

Für die Beurteilung der fertigen Platten kommt folgendes in Betracht.

Die Aufnahme muß symmetrische Lage der beiden Lungenspitzen zeigen, dieses erkennt man daran, daß die Spitzenfelder gleich groß sind, und daß die Trachea genau über die Mitte der Halswirbelsäule verläuft, ferner daran, daß die Proc. spinosi median liegen (cf. Tafel XII, Fig. 1 u. 2). In den meisten Fällen decken sich, wie schon erwähnt, die erste und zweite Rippe, wodurch man für die Diagnose auf den zweiten Interkostalraum angewiesen ist. Die Weite der Interkostalräume ist, je nach der Bildung des Thorax, verschieden (vergleiche Tafel XII u. XIII); es können so so enge Zwischenräume vorkommen, daß die Röntgendiagnose unmöglich gemacht wird. Von größter Wichtigkeit für die Beurteilung eines guten Lungenspitzenbildes ist das deutliche Hervortreten der normalen Lungenspitzenzeichnung, sie ist charakterisiert durch die Sichtbarkeit der sich verzweigenden Gefäße. Besonders in der rechten Spitze sieht man oft ein sich Ypsilonartig verzweigendes Gefäß, welches merkwürdigerweise links nicht immer mit der gleichen Deutlichkeit zu erkennen ist. Ist die Gefäßzeichnung gut, so kann man das Bild für diagnostisch brauchbar erklären. Plattenkritik

Es kommen Fälle vor, bei welchen Differenzen der beiderseitigen Spitzenschatten gut nachzuweisen sind. Auch bei Abwesenheit der unten noch zu besprechenden Fehlerquellen, ist einer solch geringen Differenz eine pathologische Bedeutung nicht ohne weiteres beizumessen, da sie auch bei normalen Lungen beobachtet wird (Krause u. a.).

Der pathologische Befund der Lungenspitzenaufnahmen ist ein außerordentlich verschiedener; leider fehlt zurzeit für die

meisten Befunde das Sektionsergebnis, so daß wir mehr oder weniger auf Vermutungen bei der Deutung angewiesen sind.

1. kommt die ausgesprochene diffuse Trübung einer oder beider Spitzen in Betracht. Während wir normalerweise auf der Platte die Spitzen als schwarze Gebilde mit darin enthaltenen weißen Gefäßen zu sehen gewohnt sind, verschwinden bei der diffusen Trübung die Gefäßschatten vollkommen. Klinisch entspricht dieser Trübung eine Dämpfung;

Pathologisch-anatomischer Spitzenbefund

2. die Trübung erstreckt sich nur auf das erste und zweite Drittel der Lungenspitze und schneidet nach unten im unteren Drittel des zweiten Interkostalraumes lineär ab, so daß noch ein Teil der Lungenspitze mit Gefäßschatten sichtbar ist. Man vergleicht am besten das Bild mit einer halb heruntergelassenen Gardine. Der Befund entspricht genau einem dem pathologischen Anatomen bekannten Infiltrationsprozeß, welcher nach unten flächenhaft begrenzt ist. Auch hier dürfte perkutorisch eine Dämpfung zu erwarten sein;

3. finden sich Flecken von verschiedener Größe, welche wolkenartig, einen mehr oder weniger dichten Charakter zeigend, in den dunklen Spitzenfeldern liegen. Perkutorisch ist hier eine Schallverkürzung zu erwarten. Das anatomische Substrat für diese Flecken können Herde, ausgeheilte Prozesse, Schwielenbildung und dergleichen sein;

4. beobachtet man in der Lungenspitze runde, etwa linsengroße, dicht beieinander liegende, aber nicht konfluierende Herde, die wohl am besten anatomisch als peribronchitische Herde aufzufassen sind. Sie sind ungemein charakteristisch und unterscheiden sich deutlich von den unter 3. genannten Flecken. Perkutorisch wird man, je nach ihrem Sitze, Schallverkürzung oder Dämpfung haben. Man beachte auch den Schatten der Clavicula. Letzterer erscheint auf der kranken Seite oft getüpfelt, was dadurch zu erklären ist, daß man durch den diffusen Schlüsselbeinschatten hindurch die fleckige Lungenzeichnung sieht. Auch auf die unterhalb der Schlüsselbeine liegenden Interkostalräume ist sorgfältig zu achten;

5. finden wir in Streifen angeordnete Trübungen, welche vielleicht als Stränge oder Adhäsionen zu deuten sind;

6. sind Kavernen, wenn sie mit Luft gefüllt sind, auch in den Spitzen deutlich nachweisbar. Turban zeigte mir zwei in der Lungenspitze von ihm diagnostizierte erbsengroße Kavernen, welche auch auf der Platte auf das Beste herausgekommen waren;

7. sind die Kalkherde in den Lungenspitzen zu erwähnen. Sie liegen bisweilen im scheinbar völlig gesunden Gewebe, oft heben sie sich aus der allgemein getrübten Lungenspitze hervor;

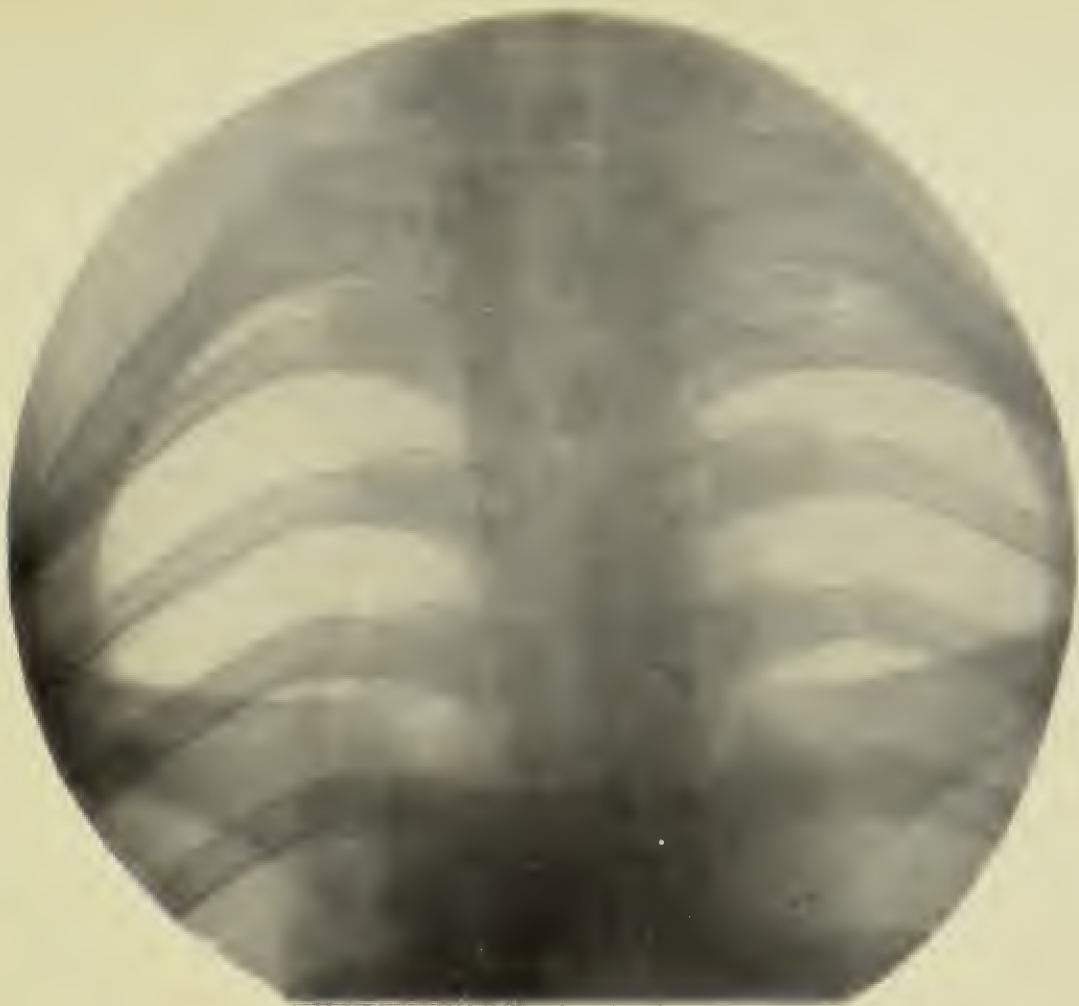


Fig. 1.



Fig. 2.


BRITISH MEDICAL
Library
ASSOCIATION

8. beobachtet man einen feinen, etwa 2 mm breiten weißen Saum, welcher der unteren Kante der zweiten Rippe anliegt. Die Deutung dieses Schattens ist schwierig. Am wahrscheinlichsten ist die Annahme, daß man es hier mit einem Tiefstand der Lungenspitze zu tun hat. Der scharfkantig konturierte Saum würde dann als Weichteilbedeckung der obersten Partie der Lungenspitze anzusehen sein. Tritt dieser Schatten einseitig bei Patienten, welche der Lungentuberkulose verdächtig sind, auf, so würde ihm eine gewisse diagnostische Bedeutung, bezüglich Tiefstandes der Lungenspitze beizumessen sein; findet er sich, wie sehr häufig, doppelseitig bei sicher lungengesunden Menschen, so kann man ihm keine pathologische Ursache zusprechen, muß vielmehr annehmen, daß bei diesen Personen die Lungenspitzen tiefer als gewöhnlich stehen.

Ich besitze eine Platte, auf welcher er seine Erklärung durch einen hinter dem Hals der ersten Rippe liegenden Knochenschatten, über dessen Herkunft ich nichts aussagen kann, findet. Ob es sich hier um eine Skelettabnormität handelt, muß späterer Entscheidung vorbehalten bleiben.

Fehlerquellen bei Lungenspitzenaufnahmen

Von größter Wichtigkeit ist die Kenntnis der Fehlerquellen. Sie sind entweder in der technischen Ausführung, oder in den Körperverhältnissen des Patienten zu suchen.

Gehen wir zunächst auf das Technische ein, so können die Lungenspitzen

1. infolge zu harter Röhren überlichtet sein, sie erscheinen alsdann grau und ohne Kontrast und bieten die übrigen Charakteristika eines verschleierten Bildes;

2. kann eine Überexposition, d. h. eine zu lange Belichtung mit guter weicher Röhre vorliegen. Solche Bilder zeigen bei vorzüglich herausgekommener Struktur der Wirbelkörper tiefschwarze Lungenspitzen, ohne jegliche Gefäßzeichnung. Diese Platten sind ebensowenig wie die verschleierten zu gebrauchen, da eventuell vorhandene pathologische Befunde vollständig fortgestrahlt sein dürften;

3. kann eine Platte unterexponiert sein. In solchen Fällen differenzieren sich Lungenspitzen und Knochen überhaupt nicht genügend;

4. kann Unschärfe der Platte ihre diagnostische Verwendbarkeit in Frage stellen.

Die Fehlerquellen, welche in den Körperverhältnissen des Patienten begründet sind, lassen sich folgendermaßen zufammenfassen:

Nach Krause und Friedrich können die Lungenspitzen gegenüber dem übrigen Lungengewebe getrübt erscheinen durch

sklerodermatische Veränderungen der Haut, durch die seltene Calcinosis interstitialis progressiva (Krause und Trappe), ferner durch Vermehrung des subkutanen Fettgewebes, Adipositas und Lipombildung, dann durch vergrößerte und indurierte supra- und infraklavikuläre Drüsen. Es ist selbstverständlich, daß man diese sämtlichen pathologischen Erscheinungen vor der Röntgenographie durch eingehende klinische Untersuchung möglichst ausschließen muß.

Weniger leicht sind Abnormitäten des Patienten, die sich äußerlich nicht manifestieren, klinisch vor der Untersuchung festzustellen. So findet sich nicht selten Asymmetrie des Thorax, welche so gering ist, daß sie dem Auge entgeht, und trotzdem die Ursache ist, daß die beiden Lungenspitzen verschieden groß erscheinen. Die Lungenspitzen fallen in ihrer Größe deswegen bisweilen ungleich aus, weil die Brustwirbelsäule eine leichte Krümmung zeigt; hierdurch wird bedingt, daß diejenige Spitze, welche an der konvexen Seite des Wirbelsäulenschattens sich befindet, kleiner erscheint, als das Spitzenfeld an der konkaven Seite. Durch die Krümmung werden die Rippen an der konkaven Seite von der Wirbelsäule abgedrückt und hierdurch das Feld größer, während an der konvexen Seite die Rippen zur Wirbelsäule hingezogen werden, wodurch eine Verkleinerung des Spitzenbildes bedingt ist. Selbst auf der Röntgenplatte kann man unter Umständen diese Unregelmäßigkeit, wenn man nicht darauf achtet, ob die Trachea genau median gelegen ist, übersehen.

Liegt der Patient der Platte nicht vollkommen flach auf, sondern ein wenig nach einer Seite hinübergekippt, so kann dieses eine einseitige Unschärfe des Bildes bedingen, die wiederum dadurch, daß auf der unscharfen Spitze die Gefäße verwaschen sind, zur Annahme einer entsprechenden Trübung führt. Man beobachte also genau die Struktur der Rippen beiderseits, um eine derartige einseitige Unschärfe sofort zu erkennen.

Ferner kann Unschärfe durch forcierte Respiration entstehen; auch sie markiert sich in erster Linie an den Rippen, die beiderseits keine scharfen Konturen zeigen. Ein solches Bild ist ebenfalls diagnostisch nicht zu gebrauchen.

Sodann kann die Platte durch Bewegung des ganzen Thorax während der Aufnahme verdorben werden. Wir haben dann doppelte Konturen.

Schließlich ist zu erwähnen, daß unter Umständen die mediane Ecke des Schulterblattes das Spitzenfeld teilweise überlagern kann; auf guten Bildern wird man dieses sofort an der Struktur der Skapula erkennen. Ist letztere nicht deutlich herausgekommen, so

kann unter Umständen eine Trübung vorgetäuscht werden. In seltenen Fällen ist der proc. costae übermäßig groß und ragt nach oben in den Interkostalraum hinein. Durch Nachweis seines Zusammenhanges mit der Rippe wird man sich vor der Annahme einer Trübung im Spitzenbilde schützen.

Nicht zu verwechseln mit peribronchitischen Herden sind kleine rundliche, weiße Gebilde, welche im Verlauf von Gefäßschatten auftreten. Es scheinen dieses die Stellen zu sein, an welchen Seitenzweige abgehen.

---

26. Kapitel.

Ösophagus und Trachea.[1])

Ösophagus und Trachea

Es ist erforderlich, an dieser Stelle der röntgenographischen Darstellung pathologischer Prozesse in der Speiseröhre zu gedenken. Grundlegend für die Pathologie der Ösophagus sind die neuerdings erschienenen Arbeiten von Kaufmann und Kienböck[2]), auf welche hier ganz besonders hingewiesen werden soll.

In erster Linie kommen metallische oder ähnliche Fremdkörper, die gelegentlich durch Verschlucken in die Speiseröhre hineingeraten, in Betracht. Vor allen Dingen sind es Nadeln oder künstliche Zähne, sogar ganze Gebisse. Man wird sich im allgemeinen mit der Stellung der Diagnose auf dem Leuchtschirm begnügen können, um so mehr, als die therapeutischen Maßnahmen, namentlich Extraktionen der Fremdkörper, meist direkt an die Durchleuchtung unter Benutzung des Schirmbildes angeschlossen werden. Es ist indessen unter Umständen gut, durch eine Platte das Vorhandensein oder das Fehlen eines Fremdkörpers nachzuweisen. Die Aufnahmen finden entweder bei Seitenlage oder Rückenlage des Patienten genau in derselben Weise wie die anfangs beschriebene Halswirbeluntersuchung statt. Soweit der Ösophagus vor den darstellbaren Halswirbeln liegt, kann man hier jeden Fremdkörper finden, diejenigen Partien dagegen, bei welchen die frontale Durchleuchtung wegen der Breite des Thorax oder der Schultern nicht möglich ist, muß man in der schrägen Richtung entweder von *rechts hinten* nach *links vorn* oder umgekehrt untersuchen. Auch hier wird der Fremdkörper zunächst auf dem Leucht-

---

[1]) Siehe auch das Kapitel „Trochoskop und seine Technik“.

[2]) Wiener klin. Wochenschrift Nr. 35—38. 1909.

schirm, bevor man zur röntgenographischen Aufnahme schreitet, zu bestimmen sein. Ist dieses geschehen, so stellt man genau wie bei der Sternum- und Aortenbogenuntersuchung die betreffende Stelle mittels Leuchtschirm ein, legt dem Patienten die Platte in der beschriebenen Weise auf die Brust und durchstrahlt mit einer weichen Röhre ein bis zwei Minuten. K. E. 3 Sekunden.

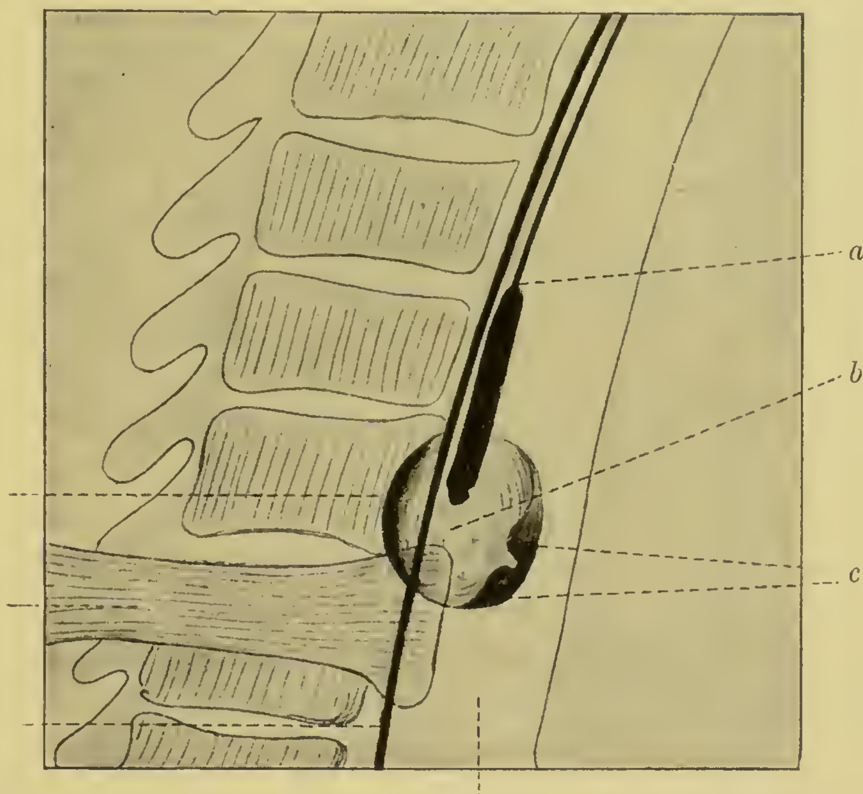
Die Untersuchung des Ösophagus ist außer bei Fremdkörpern noch bei einigen Erkrankungen indiziert, namentlich bei den Stenosen der Speiseröhre. Hier kann eine Feststellung der funktionellen Beschaffenheit manches Licht bringen, indem man konstatiert, ob wirklich eine auf organische Ursachen zurückzuführende Stenose oder ein Kardiospasmus vorliegt. Es wird sich dieses vorwiegend auf dem Leuchtschirm erledigen lassen, unter Umständen aber ebenso wie bei den Untersuchungen auf Divertikel das röntgenographische Verfahren einzuschlagen sein. Man verfährt in der Weise, daß man den Patienten auf dem Untersuchungsstuhl durch die beiden Seitenstützen fixiert. Nachdem die Röhre durch Heben oder Senken der Bleikistenblende so eingestellt ist, daß der Normalstrahl durch den sechsten Brustwirbel geht, wird durch Drehen des Stuhles um seine Längsachse und durch seitliche Verschiebung vor dem Leuchtschirm die beste Einstellung im ersten schrägen Durchmesser aufgeführt. Hierauf gibt man dem Patienten Bismutum carbonicum, welches in Oblaten verpackt ist und sich an etwa verengten Stellen ablagert. Sehr zweckmäßig ist hierfür eine Mischung von Kartoffelbrei mit Wismut (20—25 g Wismut auf einige Löffel Brei)[1]).

Zur Ösophagusuntersuchung nimmt man (Holzknecht) 15 grm. Milchzucker, welcher mit einigen Teelöffeln Wasser zu einem Brei angerührt wird. Hierauf werden 30 Gramm Wismut hinzugesetzt. Es darf nur sehr wenig Wasser genommen werden, da sich der Milchzucker sonst leicht in einen dünnen flüssigen Brei verwandelt. Die dickflüssige Paste haftet in der Speiseröhre und ermöglicht es, besonders bei Stenosen, ein Urteil über die Weite des Ösophagus zu erhalten. Eine mit Bleidraht armierte Sonde eignet sich ebenfalls zur Darstellung in der Speiseröhre oder in Divertikeln. Handelt es sich um eine Stenose des Ösophagus, welche durch ein Karzinom bedingt ist, so wird der Wismutbolus auf der stenosierten Partie liegen bleiben und zwar so lange, bis die Oblate aufgeweicht ist und hierdurch dem Wismut den Austritt und das Durchgleiten durch die verengte Stelle gestattet. Man sucht möglichst den Augenblick zur Aufnahme zu benutzen, in welchem das Wismut

---

[1]) Über Wismutschädigungen siehe das Kapitel „Magenuntersuchungen“.

auf der Stenose liegt und wechselt, nachdem man sich noch einmal schnell auf dem Leuchtschirm von der richtigen Einstellung überzeugt hat, den ersteren durch die Plattenkassette aus und exponiert mittels des Momentverfahrens $^{1}/_{2}$—1 Sek. Häufig gelingt es in solchen Fällen auch, die Ausdehnung einer Stenose festzustellen, da das Wismut sowohl am Anfang der Verengerung wie am Ende derselben haften zu bleiben pflegt. Man erkennt, wie sich das Wismut wurmförmig durch die stenosierte Stelle hindurchschlängelt. Befindet sich die Stenose in der Gegend der Cardia, so führt der Bolus oder die Sonde deutliche, vom Herzen fortgeleitete, pulsatorische Bewegungen aus. Unter Umständen empfiehlt es sich, namentlich,



Ösophagus-Divertikel

Fig. 197.

wenn man eine Dilatation des Ösophagus, welche meist in seinem unteren Teil lokalisiert ist, nachweisen will, zunächst einen Brotbolus zu geben. Letzterer lagert sich auf die stenosierte Stelle und verstopft den Durchgang. Läßt man reichlich Wismutemulsion nachtrinken, so kann man die erweiterte, mit Emusion gefüllte Ampulle röntgenographieren.

Methode Damsch

Bei mageren Patienten kann man die Aufnahmen, wie zuerst von Damsch angegeben, in Rückenlage machen. Zunächst wird der Patient sorgfältig gelagert und die Röhre genau eingestellt. Alsdann muß er 20 g Bismuth. carbonic. in wenig Wasser aufgeschwemmt, im Liegen schlucken. Das Wismut sedimentiert

schnell im Ösophagus und läßt denselben im Mittelschatten als helles Band auf der Platte erscheinen. Etwaige Verziehungen der Speiseröhre oder sonstige Formveränderungen können auf diese Weise gut dargestellt werden. Bei korpulenten Personen versagt die Methode bisweilen.

Die Ösophagus-Divertikel kommen gewöhnlich oberhalb des Aortenbogen vor, der Sitz in der Höhe des Artenbogen ist sehr selten, Stenosen an dieser Stelle sprechen mehr für Tumorbildung.

Bei Aufnahme von Divertikeln Fig. 197 bringt man eine Sonde (*a*) in das letztere und zwar eine solche, welche mit einem kleinen Gummiballon (*b*) armiert ist, der im Innern des Divertikels mit Luft aufgeblasen werden kann. Man erkennt schon auf dem Leuchtschirm eine helle lufthaltige Kugel, welche dem aufgeblähten Divertikel entspricht. Verbessern kann man das Bild dadurch, daß man außerdem reichlich Wismut zu schlucken gibt, welches sich am Boden des Divertikels ablagert und hierdurch einen tiefen Schatten (*c*) bedingt. Eine zweite Sonde ist dann durch die Speiseröhre hindurch am Divertikel vorbeizuschieben, um den Verlauf des Ösophagus zu markieren. Gelingt es mittels Sonde und Wismut die beschriebene Manipulation erfolgreich durchzuführen, so kann man ein solches auf dem Schirm beobachtetes, sehr prägnantes Bild in der beschriebenen Weise auf der Platte mit ausreichender Deutlichkeit fixieren.

Trachea

Von großer klinischer Bedeutung für die Diagnose beginnender und bereits vorhandener Erweiterungen der Aorta ist, wie Curchmann, Rumpf und Pfeiffer nachgewiesen haben, die topographisch exakte Darstellung der Trachea. Auch bei der Beurteilung einer Struma bezüglich ihrer Operabilität ist es wichtig Verlauf und Form der Trachea genau zu berücksichtigen (Pfeiffer[1]).

Auf jeder exakt ausgeführten Halswirbelsäulen oder Brustaufnahme erkennt man den Hals- und Brustteil der Luftöhre auf das deutlichste. Als heller, etwa fingerbreiter zigarrenförmiger Streifen zieht er über die Wirbelsäule, so daß man die proc. spinosi genau in seiner Mitte sich scharf abheben sieht (Tafel XIII, Fig. 2). Eine Abweichung der Trachea nach einer Seite, die für die Annahme eines pathologischen Prozesses z. B. der Schlagader oder

Struma

einer substernalen Struma verwertet werden soll, kann nur aus einem fehlerfrei aufgenommenen Bilde diagnostiziert werden. Der Patient ist in Rückenlage vollkommen horizontal auf die Platte zu legen. Jede Drehung des Körpers bedingt ebenso wie falsche Strahlenrichtung eine Abweichung der Trachea von der Mittellinie. Zur

---

[1]) Münch. med. Wochenschr. 1906. Nr. 8.

Röhreneinstellung benutzt man am besten die Kastenblende in gleicher Weise, wie dieses bei der Aufnahme der Brustwirbelsäule beschrieben ist.

---

27. Kapitel.

Die orthoröntgenographischen Verfahren.

Unter dem Sammelbegriff der orthoröntgenographischen Verfahren versteht man zurzeit vier Methoden. Die alte Orthoröntgenographie oder Orthodiagraphie, die Orthophotographie. Das Spaltblendenverfahren und die Teleröntgenographie. Während die Orthoröntgenographie infolge ihres Alters und ihrer am besten durchgebildeten Apparate und erprobten Technik wohl den größten Anhängerkreis hat, wird an der Ausgestaltung der anderen Methoden unablässig gearbeitet, so daß sich zurzeit noch nicht sagen läßt, welcher die Zukunft gehören wird.

Die vier Methoden sollen im folgenden besprochen werden.

I. Die Orthoröntgenographie.

Die Orthoröntgenographie stellt mittels Röntgenstrahlen die wahre Größe eines Gegenstandes aus seinem Schattenbilde fest. Diese Technik ist sehr in Aufnahme gekommen, trotzdem die erforderlichen Apparate kompliziert und kostspielig sind. In der Tat gibt die Orthoröntgenographie bei der Messung von Organen, sowie bei der Lokalisation von Fremdkörpern sehr exakte Resultate. Orthoröntgenographie

Die Indikationen für die Methode sind zahlreich. Vor allen Dingen wird sie dann zur Anwendung gebracht, wenn die Größenverhältnisse des menschlichen Herzens bestimmt werden sollen.

Es ist bekannt, daß die Perkussion unter Umständen ungenaue Resultate gibt, sogar bisweilen ganz im Stiche läßt, besonders wenn es sich um korpulente oder an Emphysem leidende Patienten handelt. Sobald das Herz teilweise oder ganz von Lungengewebe überlagert ist, kann man die relative Herzdämpfung nicht mehr genau herausperkutieren. Die Bestimmung der Grenzen des rechten Vorhofes ist auch bei normal gebauten gesunden Erwachsenen häufig mit Schwierigkeiten verbunden, so daß eine exakte Größenbestimmung durch die Perkussion nicht unter allen Umständen zu garantieren ist. Dieses Ziel ist mittels der Orthoröntgenographie dagegen vollkommen zu erreichen.

Auf die kritische Würdigung der Methode vom medizinischen Standpunkte aus einzugehen, liegt nicht im Rahmen dieser Darstellung, es sind diesbezüglich die Originalarbeiten von Moritz, Levy-Dorn, Karfunkel, de la Camp, Francke, Dietlen und ganz besonders von Groedel einzusehen. Auch möchte ich auf das Werk von Holzknecht[1]): *„Die röntgenologische Diagnostik der Erkrankungen der Brusteingeweide“* hinweisen.

Nächst der Messung des Herzens ist die Größenbestimmung der Aortenaneurysmen ein Gebiet, auf welchem man mit Vorteil die Orthoröntgenographie anwenden kann. Man ist imstande festzustellen, ob sich ein Aneurysma innerhalb einer gewissen Zeit vergrößert hat oder nicht.

Ferner kommt die Orthoröntgenographie in Anwendung, wenn der Sitz eines Fremdkörpers oder eines zentralen Lungenherdes genauer lokalisiert werden soll. Auf diese Technik wird bei der Besprechung der Fremdkörper näher eingegangen werden. Auch die Magenuntersuchungen sind namentlich durch Rieder und Groedel's Arbeiten wesentlich durch orthoröntgenographische Lagebestimmungen und Messungen gefördert worden. Bevor ich zur Beschreibung der Methode übergehe, sollen die zurzeit gebräuchlichsten Apparate besprochen werden. Sie alle beruhen im wesentlichen auf dem im folgenden beschriebenen Prinzip.

Die Tatsache, daß alle Röntgenbilder eine perspektivische Verzeichnung und eine Vergrößerung ihrer normalen Form erfahren, hat bekanntlich seinen Grund darin, daß die Röntgenstrahlen von einem Punkte kegelförmig divergierend ausgehen. Die Spitze des Kegels liegt im Brennpunkt auf der Antikathode. Wird ein Gegenstand $A\ B$ (Fig. 198) unter die Lichtquelle gebracht, so wird er auf dem darunter liegenden Leuchtschirm in wesentlich vergrößertem Maßstabe $A_1\ B_1$ projiziert. Handelt es sich beispielsweise um einen Teil des menschlichen Skelettes, so wird infolge der Divergenz der Strahlen dieser Skeletteil um so größer erscheinen, je näher die Lichtquelle und je weiter der Leuchtschirm von dem Objekt entfernt ist, d. h. die Schattenbilder sind vergrößert und zwar direkt proportional der Entfernung des Körpers vom Projektionsschirm und umgekehrt proportional dem Abstand der Lichtquelle von dem zu messenden Körper. Auf der Erkenntnis dieses Gesetzes gründeten verschiedene Autoren

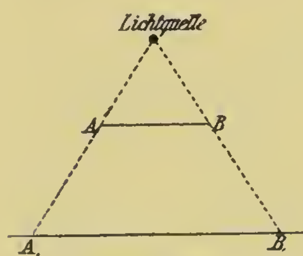


Fig. 198.

[1]) Verlag von Lucas Gräfe & Sillem, Hamburg.

wie Rosenfeld, Payne, Donath, F. Kraus, Levy-Dorn, Moritz und andere, eine Methode, welche die Darstellung der Gegenstände in natürlicher Größe zum Zweck hat. Wenn die Lichtquelle, (Fig. 199) senkrecht über den Punkt A geführt wird, so wird sich dieser Punkt auf dem Leuchtschirm senkrecht unter A bei A_1 markieren. Wird nunmehr die Lichtquelle derart verschoben, daß sie senkrecht über B zu stehen kommt, so wird der Punkt B senkrecht auf dem Schirm in B_1 projiziert. Die Linie A_1 B_1 hat also dieselbe Größe wie die Linie A B, mithin ist es gelungen, die Linie A B in ihrer natürlichen Größe auf den Leuchtschirm zu projizieren. Man nennt diese Art der Aufzeichnung die Markierung mit dem senkrechten Röntgenstrahl. Um nun die natürlichen Größenverhältnisse der zu untersuchenden Gegenstände aufzuzeichnen, ist nach Moritz nichts weiter nötig „*als aus dem ganzen Strahlenbündel, das von der Antikathode ausgeht, einen bestimmten, und zwar den senkrecht zum Projektionsschirm gerichteten Strahl in geeigneter Weise kenntlich zu machen und nur mit diesem einen Strahl die einzelnen Punkte des Umrisses des aufzunehmenden Gegenstandes auf dem Schirm zu projizieren und dort zu bezeichnen.*“

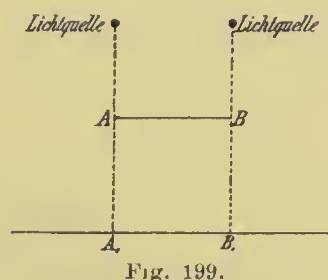


Fig. 199.

Es soll an dieser Stelle besonders hervorgehoben werden, daß Moritz als erster auf die Idee gekommen ist, eine bewegliche Röntgenröhre mit einem fixen Zeichenstift in Verbindung zu bringen, eine Idee, auf deren Ausgestaltung sämtliche Apparate beruhen. Bei der großen Zahl der Orthoröntgenographen — fast jede Fabrik hat ihr Spezialmodell — beschränke ich mich auf die Beschreibung der vier am meisten gebrauchten, der Orthoröntgenographen von Moritz (Polyphos), Siemens & Halske, Levy Dorn und Groedel, letztere beiden von Reiniger, Gebbert & Schall.

I. Der Orthoröntgenograph nach Moritz

(jetzt verbessertes Modell).

Polyphos Elektrizitäts-Ges. (München).

Der älteste, jetzt verbesserte Apparat ist der von Moritz angegebene und von ihm selbst folgendermassen beschriebene Orthoröntgenograph: Orthoröntgenograph nach Moritz

„Der Apparat zerfällt in zwei Haupteile, erstens den Rahmen, der alle integrierenden Bestandteile des Orthodiagraphen, nämlich Röhre, Marke für den senkrechten Röntgenstrahl und Zeichenvor-

richtung trägt, und zweitens den Tisch, der dem Rahmen sowohl als dem Patienten als Lager dient.

Der Rahmen ist aus Metallröhren, Holzleisten und Aluminiumstangen leicht, aber doch stabil gebaut. Die Zeichenvorrichtung nebst Fluoreszenzschirm ist an seiner oberen, die Röntgenröhre an seiner unteren Seite angebracht. Die obere Seite des Rahmens ist da, wo sie auf dem Tisch aufliegt, mit leicht gleitenden Metallwalzen versehen, die zur Tischachse senkrecht stehen. Der Tisch selbst trägt nach Art eines Barrens seitlich zwei Parallelogramme,

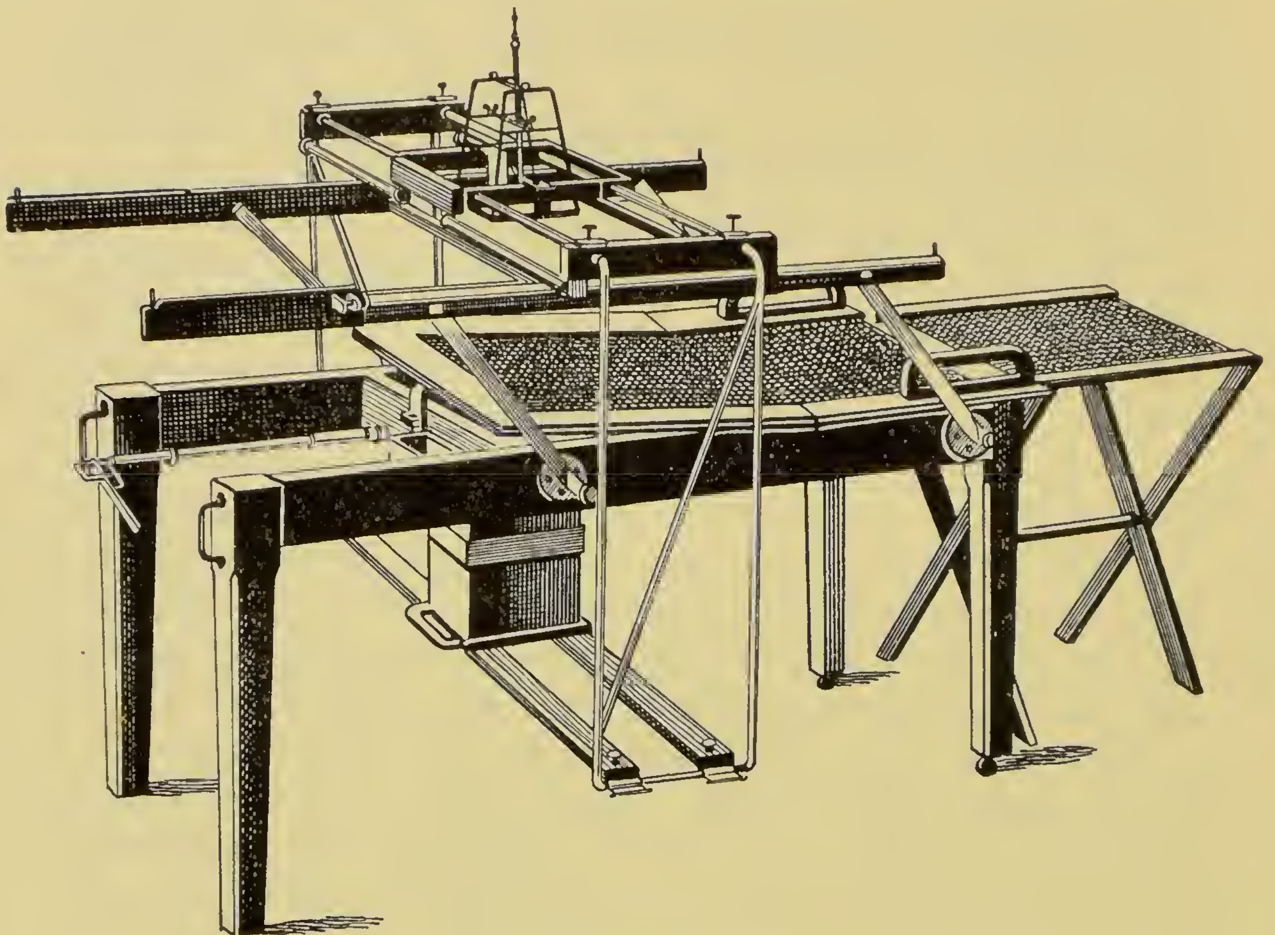


Fig. 200.

die oben ebenfalls mit Metallwalzen versehen sind, die ihrerseits aber parallel zu der Längsachse des Tisches stehen. Die Walzen des Parallelogramms und die des Rahmens, die auf jenen ruhen, sind also senkrecht aufeinander gerichtet. Hierdurch ist in der Horizontalebene ein sehr leichtes Gleiten des Rahmens nach jeder Richtung hin gewährleistet, während er in der Richtung von oben nach unten völlig fest steht. Dies kommt dem Untersucher zustatten, der mit beiden Armen sich auf den Rahmen stützt und so einen sehr erwünschten Halt findet. Dadurch wird ein ruhiges Arbeiten ermöglicht und der Ermüdung vorgebeugt. Ich sehe in dieser Verbindung von Leichtver-

sehiebliehkeit in einer Ebene und völliger Stabilität in der auf diese Ebene senkreehten Riehtung einen ersten wesentliehen und speziellen Vorzug des Apparates.

Die Röntgenröhre auf dem unteren Teile des Rahmens ruht in einem völlig gesehlossenen, überall mit Bleibleeh bezw. Bleigummi ausgeschlagenen Gehäuse. Nur am Deekel oben befindet sieh eine Blendenöffnung, die konzentrisch um den senkreehten Strahl ein Strahlenbündel austreten läßt. Es hat ein soleher bleibesehwerter Kasten nebst Röhre naturgemäß ein ziemlieh großes Gewieht. Da dasselbe aber von dem stabilen Parallelogramm des Tisehes getragen wird und die Reibung in dem Walzensystem nur eine minimale ist, so beeinträehtigt die Sehwere des Kastens in keiner Weise die Leichtigkeit der Führung. Ieh eraehte es für einen weiteren Vorteil, bei meinem Apparat in bezug auf das Gewieht des Röhrenkastens nieht sparsam sein zu müssen und so einen vollständigen Sehutz des Untersuehers gegen die Röntgenstrahlen anbringen zu können. Die mehr und mehr sieh häufenden Mitteilungen über Sehädigung durch Röntgenstrahlen lassen diese Vorsieht als unbedingt geboten erseheinen. Man kann, da das Gewieht keine Rolle spielt, natürlieh Kästen für jede beliebige Röhrenform, aueh solehe größten Kalibers benutzen. Ieh verwende an meinem Orthodiagraphen jetzt vielfach große Wasserkühlröhren, die ein stundenlanges Arbeiten gestatten, ohne daß sie zu weieh werden.

Die Zeiehenvorriehtung des Apparates, die am oberen Teile des Rahmens angebraeht ist, hat sieh im Prinzipe nieht geändert, ist aber teehniseh wesentlieh vervollkommnet worden. Aus einer senkreeht geriehteten Röhre fällt dureh Druek auf einen Hebel ein Zeiehenstift auf die Projektionsfläehe herab, sei diese nun eine eigene, zwisehen Rahmen und Thorax angebraehte Ebene (Befestigung am Parallelogramm des Tisches, also unabhängig von dem versehiebliehen Rahmen) oder aber der Thorax des Patienten selbst. Unter der Zeiehenvorriehtung ist an dem oberen Teile des großen Rahmens der Fluoreszenzsehirm angebracht. Derselbe trägt in seiner Mitte ein kleines Loeh, welehes als Marke für den senkreehten Röntgenstrahl dient. Dureh dieses Loeh fällt aueh der Zeiehenstift hindureh. Die Einstellung des Sehirmloehes auf den senkrechten Röntgenstrahl gesehieht unter Zuhilfenahme eines Bleipendels, das in meiner ersten Mitteilung (*Münchener med. Wochenschrift 1900, No. 29*) näher besehrieben ist. Dasselbe hat seinen ständigen Platz in einem kleinen Kästchen am Kopfende des Tisehes. Es kann somit die Einstellung des Apparates vor jeder Aufnahme rasch kontrolliert werden, indem man den Rahmen über das Pendel

schiebt und feststellt, ob die orthogonale Form der Projektionsfigur des Pendels auf dem Fluoreszenzschirm dann erscheint, wenn das Schattenbild des Lotes mit dem Loch in dem Fluoreszenzschirm zusammentrifft. Die Senkrechtrichtung von Röhre und Zeichenstift über dem Loch des Schirmes ist in einfacher Weise dadurch ermöglicht, daß man zunächst den Stift durch das Loch hinunterfallen läßt und nun die in zwei verschieblichen Lagern gehaltene und dadurch in jede Richtung einstellbare Führungsröhre des Stiftes so richtet, daß der auf dem Schirm sichtbare Schatten des Stiftes punktförmig wird und mithin in dem Loch des Schirmes verschwindet. Da vorher das Loch schon senkrecht über den Ausgangspunkt der Röntgenstrahlen eingestellt war, so muß nunmehr offenbar auch die Achse der Zeichenvorrichtung mit dem senkrechten Röntgenstrahl zusammenfallen. In dieser Stellung wird die Zeichenvorrichtung durch Schrauben fixiert.

In der Möglichkeit, alle diese Einstellungen rasch selbst vornehmen und durch das Pendel jederzeit kontrollieren zu können, liegt abermals ein nur ihm eigentümlicher Vorzug des Apparates.

Der vorher erwähnte Röhrenkasten wird in Nuten laufend, wie eine Schieblade, samt der Röhre an seinen Platz unten am Rahmen eingeschoben. Wenn man für verschiedene Röhren verschiedene Kästen besitzt, in denen sie ein für allemal bereit stehen, so ist die Auswechslung einer Röhre das Werk weniger Augenblicke. Die dann folgende Einstellung des Schirmes mit der Lochmarke für den senkrechten Strahl gestaltet sich ebenfalls sehr kurz. An der Zeichenvorrichtung braucht, wenn diese erst einmal senkrecht über das Schirmloch gestellt war, in der Regel für lange Zeit überhaupt nichts geändert zu werden.

Das an den Seiten des Tisches angebrachte, ganz aus Metall gearbeitete Parallelogramm läßt sich mit einem Hebel durch ein Schneckengewinde ganz beliebig und stetig heben und senken, letzteres bis unter die Oberfläche des Tisches. Senkt man das Parallelogramm nach dem Kopfende des Tisches zu, so kann man, da die Füße des Tisches hier über die Tischfläche hinausstehen, den Rahmen ganz von der Tischfläche wegschieben. Senkt man das Parallelogramm dann noch weiter, so stellt sich der Rahmen auf den Fußboden des Zimmers auf und man kann nun das Parallelogramm ganz unter die Tischfläche bringen. Diese wird hierdurch völlig frei, so daß man einen Patienten ohne Schwierigkeit auf den Tisch heben kann. Für gewöhnlich, wenn der Patient sich selbst auf den Tisch lagert, wird das Parallelogramm nur wenig kopfwärts gesenkt, um den Rahmen vom Tisch wegschieben zu können. Der Kranke kann

sich dann, ohne an den Rahmen anzustoßen, auf den Tisch legen resp. sich von demselben aufrichten. Den mit Segeltuch bespannten Tisch habe ich gegen früher um ein Drittel verkürzt. Der Patient braucht sich jetzt nur am Fußende des Tisches auf den Tisch zu setzen, zwei seitlich dort befindliche Handhaben zu ergreifen und,



Fig. 201 a u. b.

an diesen sich haltend, sich umzulegen. Es wird dann unter seine Unterschenkel ein Feldstuhl von der Höhe des Tisches geschoben, worauf der ganze Körper horizontal liegt. Der kopfwärts befindliche Teil der Tischfläche läßt sich schräg stellen, um im Bedarfsfall den Oberkörper des Kranken etwas höher lagern zu können."

Stativ für Vertikalröntgenographie nach Moritz.

Stativ nach Moritz

Eine möglichst vollkommene Feststellung des Patienten bei der Orthoröntgenographie ist von allergrößter Bedeutung. Während bei dem Horizontalapparat diese Feststellung sich von selbst ergibt, ist bei der Vertikalorthoröntgenographie ein eigenes Stativ hierzu notwendig. Ein solches wurde von Moritz angegeben. Fig. 201a u. b zeigt dasselbe in Vorder- und Seitenansicht. Ein Rahmen A, B, C ist auf einem Fußtritt D befestigt und mit Segeltuch bespannt. Gegen letzteres kann sich der Patient anlehnen, während er durch zwei verstellbare ausgehöhlte Achselstücke E und F an der Schulter gegen seitliche Schwankungen festgehalten wird. Dieses Stativ kann auch mit einem Rahmen versehen werden, an welchem sich eine Zeichenfläche befindet, so daß die in Fig. 200 mit K und L bezeichnete Vorrichtung in Wegfall kommen kann. Das ganze Stativ wird zwischen die beiden Stangen D_1, D_3 in den Orthoröntgenographen eingeschoben.

II. Der Orthoröntgenograph von Siemens & Halske.

Orthoröntgenograph nach Siemens & Halske

Der Orthoröntgenograph (s. Fig. 202 u. 203) besteht aus einem gußeisernen Ständer a, in den eine Zahnstange b eingeführt ist, die durch ein Rädergetriebe c auf- und abwärts bewegt werden kann, derart, daß bei jeder beliebigen Kurbelstellung der Apparat in seiner Höhenlage festgestellt ist. Auf der Zahnstange b ist ein horizontaler Träger d befestigt, der vermittelst eines Vierkantes e und einer kleinen Schraube f mit der Zahnstange b fest verbunden ist. Das kürzere Ende von d besitzt einen zylindrischen Ansatz g und einen vierkantigen Ansatz h, auf welch letzterem das bewegliche System vermittelst des vierkantig ausgehöhlten Ansatzstückes i aufgeschoben ist und durch einen Knebel k festgestellt werden kann. Mit i ist eine horizontale Achse l verbunden, um welche der Arm m drehbar angeordnet ist, und der unten das Gewicht n trägt, das auf m verschoben und mittels der Schraube o festgestellt wird. Auf die mit m fest verbundene horizontale Achse r ist der Arm s aufgeschoben, der das Gewicht n_1 und den Arm t trägt. Sowohl der Arm m als auch s können mittels der beiden Schrauben 1 und 2 festgestellt werden. Auf diesem Arm t ist der Röhrenhalter u, der Fluoreszenzschirm v und die auswechselbare Bleiblende w angeordnet, welche durch Knebelschrauben festgestellt werden können. Mit dem Rahmen des Fluoreszenzschirmes v ist ein Metallstück y verbunden, welches einen kleinen

Hohlzylinder *z* trägt, dessen Achse senkrecht zur Ebene des Fluoreszenzschirmes steht, und durch welchen der den Bleistift tragende Metallstift *x* hindurchgeschoben werden kann. Zwischen der Röntgenröhre resp. Bleiblende *w* und dem Fluoreszenzschirm *r*

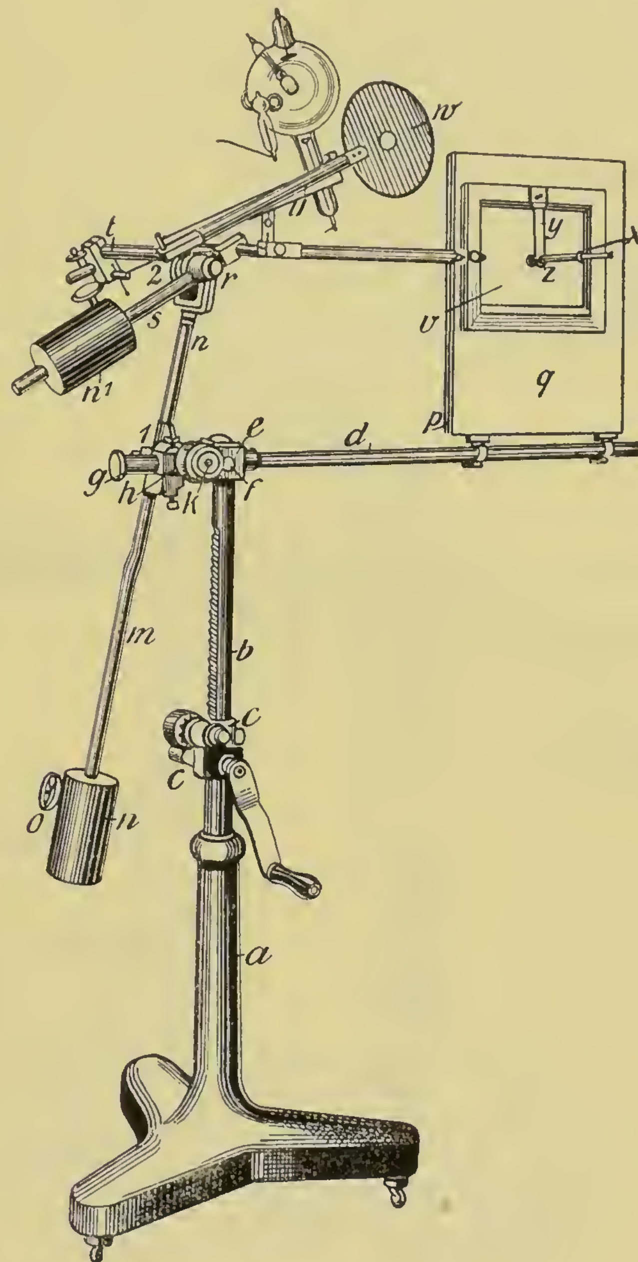


Fig. 202.

ist ein zur Aufnahme des Zeichenpapiers *a* bestimmter Rahmen *p* angeordnet, der in der Längsrichtung der Stange *d* oder auch um die Achse von *d* gedreht und mittels der an dem Rahmen befestigten Knebelschraube befestigt wird.

Untersuchung.

1. Bei aufrechter Stellung des Patienten (Fig. 202).

Es wird zunächst, nachdem das System durch Verstellung der Gewichte *n* und n_1 möglichst leicht beweglich eingestellt worden ist, der Rahmen *p* heruntergeklappt, so daß der Raum zwischen Röhre resp. Bleiblende *w* und dem Fluoreszenzschirm *v* frei ist. Dann schiebt man den Metallstift *x* mit dem Bleistift durch den kleinen Hohlzylinder *z* und die in dem Fluoreszenzschirm angebrachte Öffnung ganz hindurch. Die Röhre ist nun so einzustellen, daß die Abbildung des durch den Fluoreszenzschirm ragenden Teiles von *x* nicht als Gerade, sondern als kleiner Kreis auf dem Schirm erscheint. Nunmehr wird der Rahmen *p* wieder vertikal gerichtet und der Patient zwischen Bleiblende und Zeichenblatt aufgestellt und dann orthoröntgenographiert.

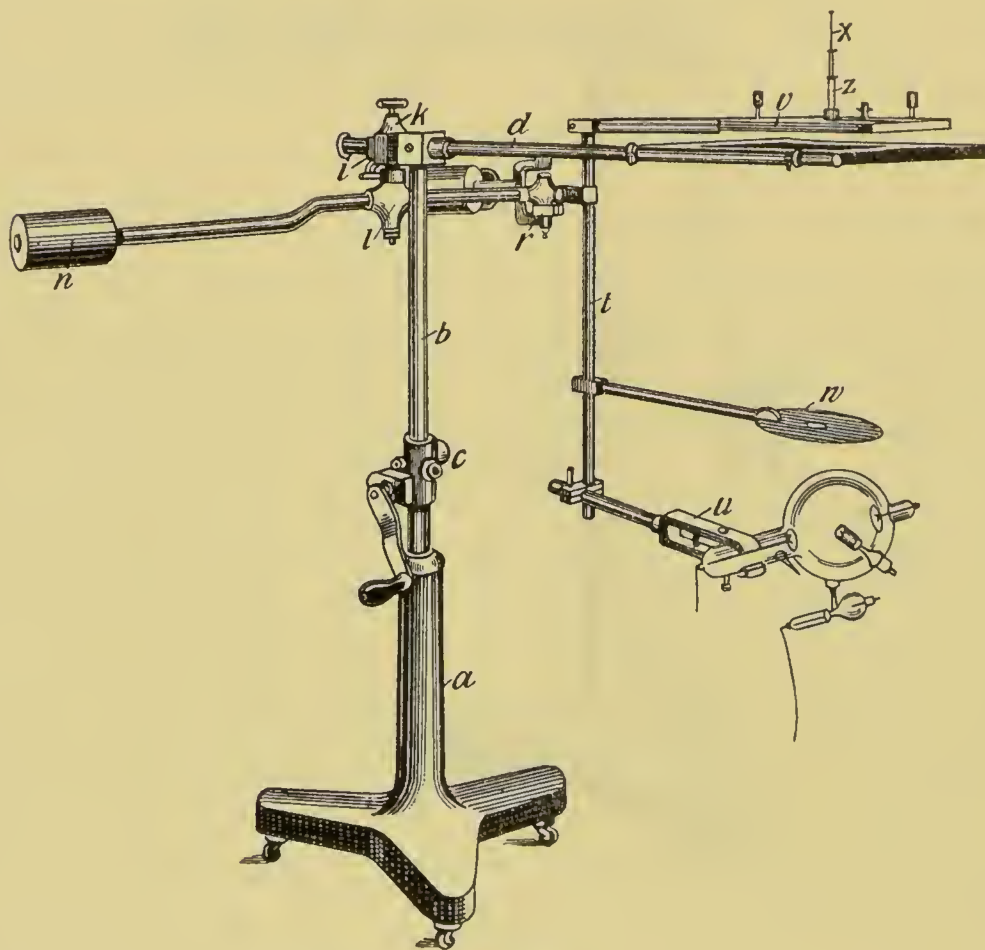


Fig. 203.

2. Bei liegender Stellung des Patienten (Fig. 203).

Für diesen Fall wird das bewegliche System von dem vierkantigen Stück *h* der Stange *d* nach Lösen des Knebels *k* abgeschoben und auf das zylindrische Ende g aufgeschoben, dann um 90° gedreht wieder auf *f* zurückgeschoben und durch den Knebel *k* festgestellt.

III. Der Orthoröntgenograph nach Levy-Dorn.

Reiniger, Gebbert & Schall (Erlangen).

Der Apparat besteht aus einem niedrigen, schweren, guß-eisernen Stativ S mit Rollen und Fixierschrauben F, um einesteils den Apparat leicht fortbewegen, und anderenteils das Stativ so Orthoröntgenograph nach Levy-Dorn

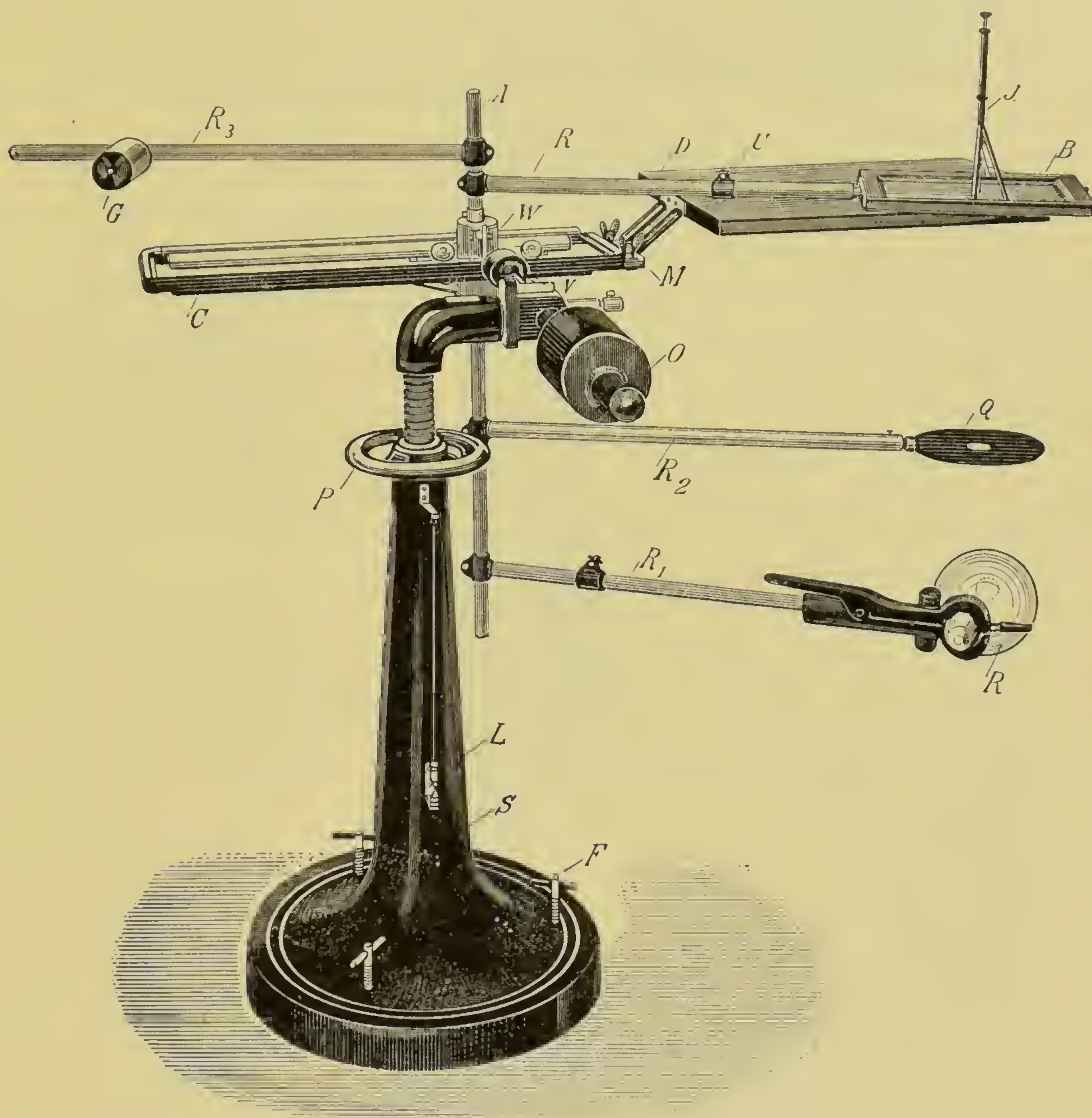


Fig. 204.

äquilibrieren zu können, daß ein an der Säule des Statives angebrachtes Lot L richtig einspielt.

Das bewegliche System des Orthoröntgenographen besteht aus einem, in einer wagrechten Kulisse C auf vier Räderpaaren laufenden leichten Wagen W, durch den senkrecht zur Bewegungsrichtung

die drehbare Achse A geht, welche ihrerseits die Röntgenröhre R und den Bariumplatincyanürschirm B trägt. Die allseitige Beweglichkeit des mit der Röntgenröhre starr verbundenen Bariumplatincyanürschirmes in der Zeichnungsebene kommt durch die gradlinige Bewegung des Wagens und die Drehbewegung der Achse A, an welcher die den Schirm und die Röhre tragenden Rohrgestänge R bzw. R_1 befestigt sind, zustande. Die vier Rollenpaare des Wagens (in neuerer Zeit sind es nur noch drei Rollenpaare) und die Stahlrohrachse A laufen sämtlich in gehärteten Kugellagern, so daß sich die ganze Zeichenvorrichtung außerordentlich leicht bewegen läßt.

Die Laufbahn der Kulisse C ist genau geschliffen, so daß der Wagen trotz der leichten Beweglichkeit nicht wackelt. Ein weiterer auf der Achse A befestigter Rohrarm R_2 trägt die auswechselbare Blendenscheibe Q oder auch eine Irisblende. Das auf dem Stahlrohr R_3 sitzende Gegengewicht G dient zur Ausbalancierung der Röntgenröhre, des Leuchtschirmes und der Blende mit ihren Gestängen. Je nach der Art der verwendeten Röntgenröhre und der Stellung der Gestänge R, R_1 und R_2 zueinander, wird der Arm R_3 in der Längsrichtung der Achse A und das Gegengewicht G auf diesem Arm verschoben, bis das ganze bewegliche System in sich völlig ausbalanciert ist.

Wie aus der Fig. 204 ersichtlich, ist das Gegengewicht G ziemlich klein, wodurch, verbunden mit dem geringen Gewicht des Wagens und des dünnwandigen Stahlrohrgestänges, die Trägheit der ganzen bewegten Zeichenvorrichtung sehr gering ist. Es ist dies ein Vorzug des Zeichenstatives, der für die leichte Beweglichkeit des Systems als wesentlicher Faktor in Frage kommt. Irgendwelche, den Arzt oder den Patienten behindernde, bewegliche Teile sind nicht vorhanden. Die Drehbewegung der Zeichenvorrichtung um die Achse A kann durch eine am Wagen sitzende Arretiervorrichtung aufgehoben werden, so daß es möglich ist, mit der Zeichenvorrichtung nur horizontale Bewegungen auszuführen, was für Breitenmessungen nicht ohne Wert ist.

Eine an der Kulisse C befestigte Skala T, auf welche ein am Wagen angebrachter Zeiger Z einspielt, ermöglicht die direkte Ablesung bei den vorgenommenen Breitenmessungen. Eine zweite Skala T_1, über der ein an der Achse A befestigter Zeiger Z_1 spielt, dient zur Ablesung der Höhenverschiebung der Zeichenvorrichtung am Leuchtschirm. Die Eichung dieser Skala ist so hergestellt, daß nicht die Länge des mit der Zeichenvorrichtung beschriebenen Bogens, sondern die Sehnenlänge desselben, d. h. also direkt die Höhenverschiebung abgelesen werden kann.

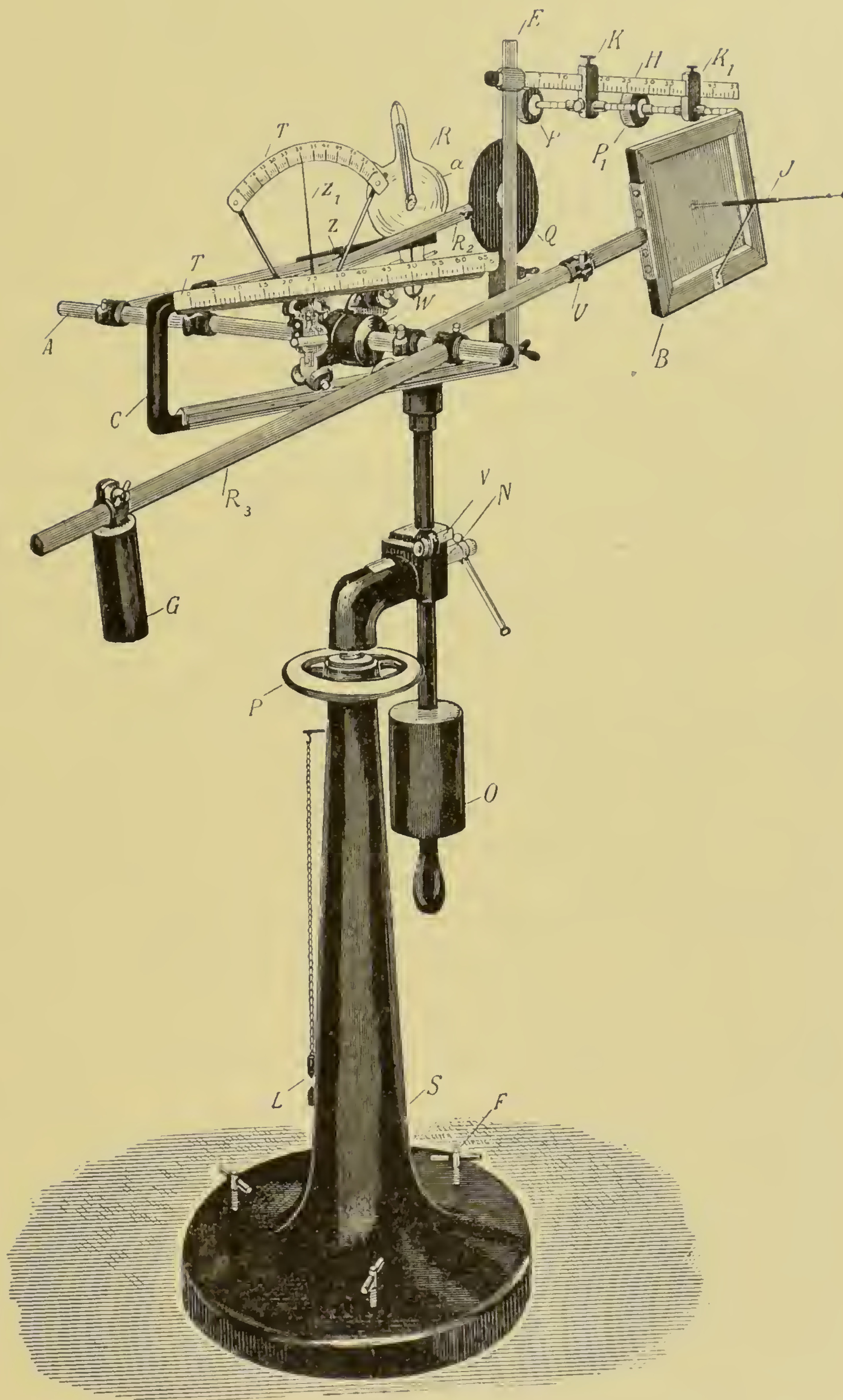


Fig. 205.

Beide Skalen bestehen entweder aus Metall und besitzen durch die Zeiger leicht verschiebbare Marken, oder sie sind mit phosphoreszierender Farbe, in der die Skalenteile und Zahlen eingedrückt sind, überzogen, damit die Horizontal- und Vertikalschiebung der Zeichenvorrichtung entweder nach vorgenommener Messung im wieder erleuchteten Zimmer, oder im verdunkelten Laboratorium vermittelst der leuchtenden Farbe direckt abgelesen werden kann. Man wird sich der Skalen insbesondere dann bedienen, wenn es sich um direkte Zeichnung auf der gewölbten Brustwand, oder um Lokalisation von Fremdkörpern handelt.

Soll direkt auf der Haut gezeichnet werden, so ist das, in Fig. 204 sichtbare, aus dünnem strukturfreiem Pappelholz bestehende Zeichenbrett D abzuschrauben, was durch einfaches Lockern der Flügelmuttern M geschieht.

Bei Benutzung der Zeichentafel wird auf der dem Leuchtschirm zugewandten Fläche ein auf die Größe des Brettes zugeschnittenes Blatt Papier mittels Reißzwecken oder Klammern festgespannt. Da bei Benutzung der Zeichentafel durch Bewegung des Patienten leicht Fehler in der Aufzeichnung des Herzens entstehen können, ist es notwendig, den Körper der betreffenden Personen durch zwei an dem starken Holzrahmen des Zeichenbrettes angeknöpfte Riemen, welche auf dem Bilde nicht sichtbar sind, zu fixieren. Rufen seitliche Körperschwankungen des Patienten bei direkter Zeichnung auf der Haut keinen Fehler hervor, so trifft dies bei Verdrehung des Thorax nicht mehr zu. Soll auch dieser Fehler vermieden werden, der je nach der Größe der Verdrehung nicht unbeträchtlich sein kann, so ist es notwendig, daß man sich auch bei dieser Art der Messung einer Fixiervorrichtung, welche in Fig. 205 sichtbar ist, bedient. Diese wird an die Stelle der Zeichentafel mittels der erwähnten Flügelmuttern an der Kulisse festgeschraubt, und besteht aus einer vertikalen Schiene E, an welcher verschiebbar eine graduierte Traverse H befestigt ist. Auf dieser gleiten zwei Metallklötze, K bzw. K_1, die ihrerseits die eigentliche Einstellvorrichtung, zwei Pelotten P bzw. P_1 tragen. Die Stangen dieser Pelotten besitzen wieder Zentimeterteilung, so daß es bei wiederholten Untersuchnngen ein und derselben Person möglich ist, die einzelnen Messungen stets unter genau den gleichen Bedingungen vorzunehmen, indem die Metallklötze K und K_1 und die Pelotten P und P_1, an die sich der Patient mit den Schultern leicht anlehnt, immer in dieselbe Lage gebracht werden.

Damit der Wagen, der die Zeichenvorrichtung trägt, nicht das Bestreben hat, stets nach einer Seite hin zu rollen, müssen die Fixierschrauben F so eingestellt werden, daß das Lot L an die

Säule *S* gut einspielt. Die Gleitbahnen der Kulisse *C* liegen dann genau in der Horizontalebene.

Ist es aus irgendwelchen Gründen notwendig, die Herzmessung, oder irgendeine andere Messung oder Lokalisation am liegenden Patienten vorzunehmen, so wird die Kulisse *C* mit dem ganzen beweglichen Mechanismus um den Zapfen *N* gedreht. Das mit einer Handhabe versehene Gegengewicht *O* gleicht dabei das Gewicht der Zeichenvorrichtung zum größten Teil aus, so daß das Umklappen ohne Anstrengung möglich ist. Der Drehzapfen *N* ist in einem winkelförmigen Gußstück festgeschraubt, welches seinerseits an einer starken Spindel befestigt ist, die durch das Handrad *P* aus der Säule *S*, ohne sich zu drehen, heraus-, bzw. hineingeschraubt werden kann.

Hierdurch ist es möglich, die Zeichenvorrichtung für jede Körperhöhe bei vertikalen, und für jede Tischhöhe bei horizontalen Messungen, sowie für Messungen in halb sitzender Stellung des Patienten (45°) leicht einzustellen, was ein nicht zu unterschätzender Vorzug des Apparates ist. Zur Erkennung der horizontalen und vertikalen Lage der Zeichenvorrichtung dient ein an dem winkelförmigen Gußstück angebrachter Anschlagstift *V*.

Die Einstellung der Zeichenvorrichtung erfolgt derart, daß zunächst die Drehbewegung der Achse *A* und damit die Drehbewegung der Zeichenvorrichtung arretiert wird. Es können dann die Gestänge, welche die Röntgenröhrenblende, den Leuchtschirm und das Gegengewicht tragen, in der Längsrichtung und Drehrichtung verstellt werden, je nachdem es die körperliche Beschaffenheit des Patienten, die Konstruktion der verwendeten Röhre, und schließlich die Art der vorzunehmenden Messung in bezug auf die Größe des fluoreszierenden Feldes auf dem Leuchtschirm erfordert.

Die Einstellung des senkrechten Röntgenstrahles auf die Zeichenvorrichtung des Leuchtschirmes erfolgt bei Arretierstellung in grober Annäherung durch Hindurchschauen durch die Dermographenhülse *J*. Man muß dabei durch das Blendenloch der Blendenscheibe *Q* frei hindurch auf die Antikathode der Röntgenröhre sehen können. Nachdem auf solche Weise die Zeichenvorrichtung grob eingestellt ist, erfolgt die feinere Einstellung mittels eines langen Messingrohres, das in die Dermographenhülse *J* eingeschoben wird. Dieses Fixierrohr trägt an seinem, dem Beschauer zugekehrten Ende einen kleinen, kreisrunden Leuchtschirm. Leuchtet dieser konzentrisch in allen seinen Teilen auf, so ist die Einstellung genau. Leuchtet er dagegen sichelförmig, so muß, je nach der Lage der Sichel, der Leuchtschirm um die Längsachse des ihn tragenden Stahlrohres *R* gedreht, oder in radialer Richtung der

Achse A verstellt werden, was leicht möglich ist, da der Arm R aus zwei ineinandergeschobenen Stahlrohren besteht. Mittels einer, in beiden Figuren sichtbaren Feststellmuffe U, welche übrigens in gleicher Gestalt zur Befestigung aller Gestänge und auch des Gegengewichtes dient und durch einen beigegebenen Schlüssel festgezogen bzw. gelockert werden kann, ist diese Bewegung bei verdunkeltem Zimmer und in Tätigkeit befindlicher Röhre leicht möglich. Fällt jetzt die Lochmitte des Leuchtschirmes mit den auf dem Schirm senkrecht stehenden mittleren Strahl genau zusammen, wobei übrigens noch zu bemerken ist, daß die Dermographenhülse J selbstverständlich genau senkrecht zur Lichtschirmebene stehen muß, so kann die Arretierung gelöst und die Gleichgewichtslage durch Verschiebung des Gegengewichtes G auf dem Arm R_3 vorgenommen werden. Die Gleichgewichtslage in Längsrichtung der Achse A wurde vorher schon durch Verstellung des Armes R_3 hergestellt.

In Fig. 205 besteht die Zeichenvorrichtung des Leuchtschirmes noch aus zwei Röhren, bei den neueren Apparaten sind mehrere, zu einem festen Gestelle vereinigte Röhren angewendet, wie dies Fig. 204 zeigt.

Es werden dem Orthoröntgenographen entweder pneumatische Punktiervorrichtungen mit Bleistift, oder Anilinfarbe, oder Bleistiftträger, bei denen die Punktierung durch Druck auf eine zurückfedernde Vorrichtung vorgenommen wird, mitgegeben. Alle diese Zeichenapparate werden in die Hülse J eingeschoben und in einer beliebigen Lage mittels einer Klemmutter festgestellt. Die Schreibvorrichtungen sind lang genug, um sowohl auf dem Zeichenbrett D, als auch auf der gewölbten Brustwand des Patienten zeichnen zu können. Im allgemeinen sind die pneumatischen Vorrichtungen, da sie ein leichteres Arbeiten ermöglichen und bei direkter Zeichnung auf der Haut infolge ihrer großen Exkursion die Verstellung des Zeichenstiftes während der Messung unnötig machen, vorzuziehen.

IV. Orthoröntgenograph nach Levy-Dorn, modifiziert von F. M. Groedel, Bad Nauheim.

Orthoröntgenograph nach Groedel

Dieser Orthoröntgenograph, Fig. 206 u. 207, unterscheidet sich von dem vorstehenden dadurch, daß man nicht nur die Größe und Form der Brusteingeweide aufzuzeichnen vermag, sondern es wird auch deren Lage zu den Konturen des Körpers und der Körpermittellinie festgelegt. Es wird dies dadurch erreicht, daß der Zeichenschirm, vom Standpunkte des Orthoröntgenographierenden

aus, hinter die Röhre gelegt wird, und daß der vordere Durchleuchtungsschirm gegen einen Fühlstift auswechselbar ist.

Mittels Röntgenstrahlen werden die Grenzen der Brusteingeweide aufgezeichnet und dann bei ausgeschalteter Röntgenröhre bei Tages- oder künstlichem Lichte die äußeren Körperkonturen mit Hilfe des eingesetzten Fühlstiftes in das Orthoröntgenogramm eingetragen.

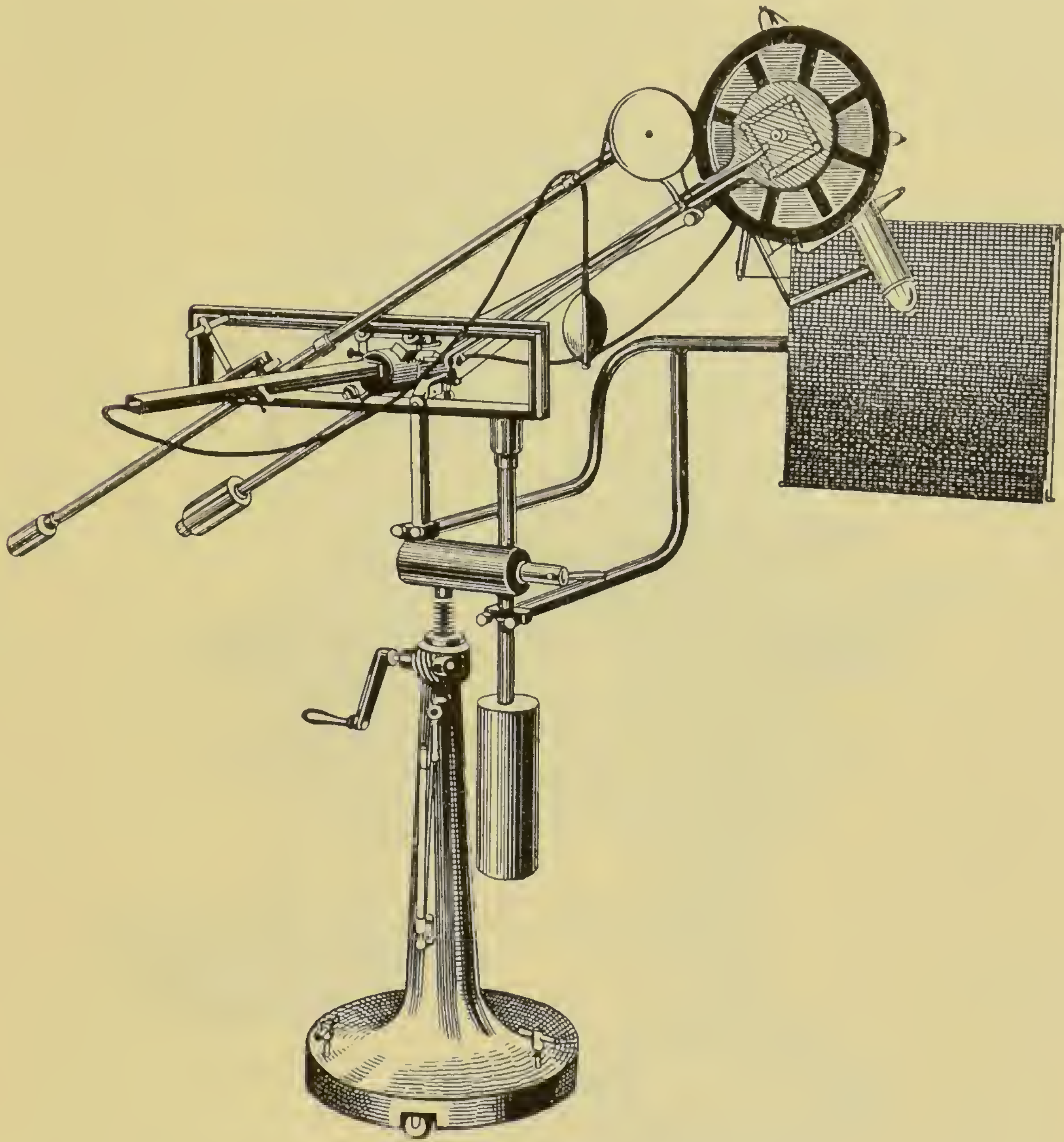


Fig. 206.

Die Körpermittellinie wird konstruiert als Verbindungslinie des Jugulums mit dem Proc. xyphoideus.

Zur Fixierung des Patienten wird bei dem Orthoröntgenographen nach Groedel ein Kipptisch verwendet, welcher unbedingt erforderlich ist, da nur dann das Orthoröntgenogramm auf Genauigkeit Anspruch haben kann. Der Patient ist durch die Fixierung auf dem Tisch verhindert, seine Lage zu verändern bzw. durch

Ermüdung zusammenzusinken. Die Schreibvorrichtung wird pneumatisch mittels Druckballons in Funktion gesetzt. Die nähere Beschreibung dieses interessanten und überaus praktischen Apparates und seiner Benutzung für die verschiedensten Zwecke findet sich in der Monographie von Groedel *„Die Orthoröntgenographie"*, *Lehmanns Verlag.*

Fast alle Orthoröntgenographen leiden bis jetzt noch an dem Mangel, daß der Untersucher nicht genügend vor den Einwirkungen

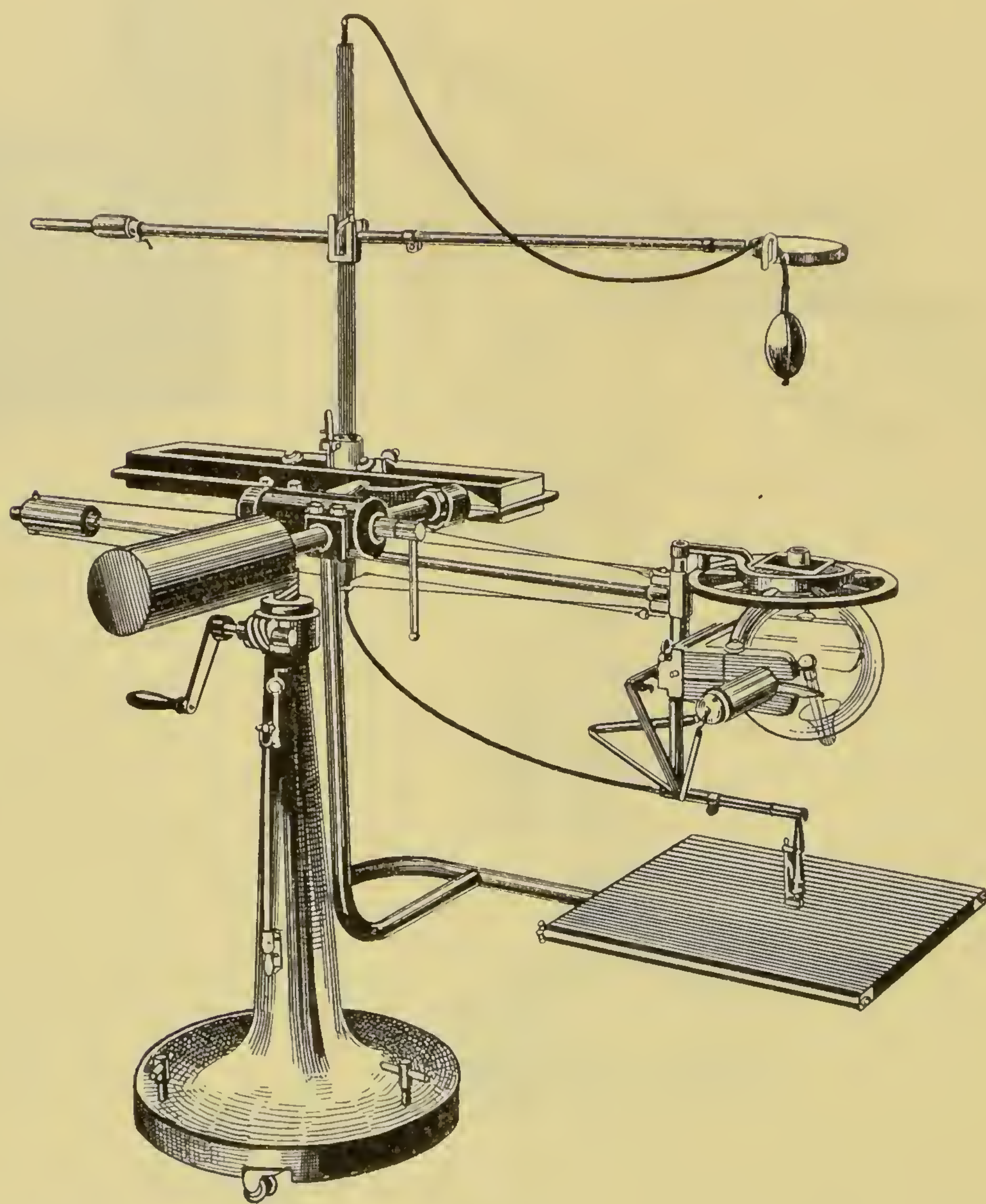


Fig. 207.

der Röntgenstrahlen geschützt ist. Es wird in Zukunft auf diesen Faktor von den Fabrikanten besonders Rücksicht zu nehmen sein. Einstweilen hilft man sich in der im Kapitel „Schutzvorrichtungen" beschriebenen Weise. Einen recht brauchbaren Schutz für den vertikalarbeitenden Orthoröntgenographen hat Davidsohn angegeben.

Schutzvorrichtung nach Davidsohn

Der Arzt sitzt hinter einer Bleiglaswand und dirigiert mit der linken Hand den Orthoröntgenographen, während er mit der rechten den Gummiball der Punktiervorrichtung bedient. Um dieses zu ermöglichen, ist der Apparat mit einigen zweckentsprechenden Hilfskonstruktionen versehen worden[1]). Es ist ferner auf den neuen Moritzschen Apparat hinzuweisen, bei welchem die Röhre in einem Kasten strahlensicher untergebracht ist, wodurch ein genügender Schutz des Untersuchers gewährleistet ist.



Fig. 208.

Fahrbare Schutzwand für Orthoröntgenographen

Speziell für die Orthoröntgenographie empfehle ich beifolgend abgebildete fahrbare Schutzwand (Fig. 208). Man rollt sie an den Orthoröntgenographen heran und tritt dann hinein. Der Unterkörper des Arztes bis ca. zum Rippenbogen ist dann völlig geschützt. Den Oberkörper behält man genügend frei, um alle erforderlichen Handgriffe machen zu können.

Die Technik der Orthoröntgenographie.

Orthoröntgenographische Technik

Die Ausübung des Verfahrens gestaltet sich folgendermaßen: Patient wird beispielsweise auf den Moritzschen Tisch

[1]) *Deutsche Med. Wochenschrift 1908, Nr. 7.*

in Rückenlage gebracht. Man achte darauf, daß beide Schultern der Unterlage gleichmäßig flach aufliegen. Der Kopf wird durch ein niedriges Kissen oder eine Nackenrolle etwas gestützt. Es ist außerordentlich wichtig, daß der Körper genau horizontal auf dem Tische ruht, da anderenfalls die gewonnenen Resultate unrichtig ausfallen. Selbst schwer herzkranke Personen können für die kurze Dauer der Messung in den meisten Fällen die Rückenlage einnehmen. Das die Zeichenvorrichtung tragende Gestell wird auf die Metallwalzen gehoben und der durchbohrte Leuchtschirm an der Zeichenvorrichtung angebracht. Es wird dann das Gestell, an welchem sich die Metallwalzen befinden, so weit heruntergelassen, daß sich der Leuchtschirm 1—2 cm oberhalb der Brusthaut befindet. Bevor die Röhre eingeschaltet wird, hat man sich noch einmal zu vergewissern, daß das Bleidiaphragma genau senkrecht über dem Fokus der Antikathode liegt. Ist dieses der Fall, so setzt man die Röhre in Funktion. Auf dem Leuchtschirm erblickt man in der üblichen Weise das Herz und erkennt deutlich die Pulsation desselben. Zunächst stellt man die Metallmarke, welche die Durchbohrung des Leuchtschirmes markiert, genau auf die Herzspitze ein. Dieses gelingt nur bei mittlerem Zwerchfellstand. Bei Hochstand des letzteren ist die Spitze verdeckt. In diesem Falle haben wir die sogenannte *flache Form* des Herzens, während bei tiefem Zwerchfellstand die *steile Herzform* zustande kommt.

Man sucht das Ende der Diastole bei mittlerer Respirationsstellung (niemals bei tiefster Inspiration) zum Markieren auf der Haut zu benutzen, indem man im Moment derselben den Zeichenstift durch die Schirmdurchbohrung hinunter senkt, wodurch auf der Haut des Patienten ein Punkt gezeichnet wird. In gleicher Weise fährt man nun fort, stets in der Diastole, entlang der Grenze des linken Ventrikels, Punkte auf die Haut des Patienten zu bringen. Markierungen in der Systole haben wegen der Geringfügigkeit des Größenunterschiedes zwischen Diastole und Systole wenig praktischen Wert. Nachdem die ganze linke Herzgrenze mehrmals, mindestens zweimal hintereinander, die Herzspitze noch häufiger, aufpunktiert ist, geht man zur rechten Körperhälfte über und verfährt in genau der gleichen Weise mit der Grenze des rechten Vorhofes. Hierbei hat man nach Moritz darauf zu achten, daß man zunächst mit der Schreibvorrichtung und dem das Loch in der Durchbohrung des Schirmes markierenden Ring in die helleren Lungenpartien hineingeht und von dort seitwärts sich der Herzgrenze nähert. Auf diese Weise ist es leichter, den manchmal nur zart angedeuteten Rand genau zu erkennen. Besonders hat man bei der rechten

Vorhofsgrenze darauf zu achten, daß man denjenigen Punkt markiert, wo ihr Schatten in den der rechten Zwerchfellkuppe übergeht. Es ist dieser Punkt bei der Größenbestimmung des rechten Ventrikels von Wichtigkeit. Ebenso wie die Herzgrenzen werden dann die Schattenkonturen der großen Gefäße und der Zwerchfellkuppen in mittlerer Respirationsstellung, und schließlich die thorakalen Begrenzungslinien der hellen Lungenfelder aufgezeichnet. Man begnüge sich nie mit einer Grenzbestimmung, sondern umfahre die Herzgrenzen mehrmals. Besonders die Herzspitze ist durch eine größere Anzahl Punkte zu markieren, wobei zu bedenken ist, daß die Herzspitze nicht mit dem Kreuzungspunkt der linken Ventrikelkontur und des Zwerchfells zusammenfällt, sondern, daß sie im Schatten unterhalb des Zwerchfells zu suchen ist.

Handelt es sich um Erweiterung der Aorta, so wird in gleicher Art der Aortenbogen oder das Aneurysma auf die Haut punktiert. Nachdem die genannten Konturen sämtlich auf den Thorax des Patienten projiziert worden sind, schaltet man die Röhre aus und entfernt das die letztere tragende Gestell. Mittels Dermographen werden jetzt die einzelnen Punkte der linken sowie der rechten Herzgrenze und die der Zwerchfellkuppen miteinander verbunden. Die Zeichnungen, die so auf der Brusthaut entstanden sind, entsprechen genau den gesehenen Herzgrenzen und können mit geringen Einschränkungen als richtiges Maß betrachtet werden.

Es sind nun einige Linien erforderlich, welche als Ergänzung zu den soeben gefundenen dienen. In Fig. 209 ist die obere und untere Herzgrenze durch eine punktierte Linie angegeben. Letztere ist nicht auf orthoröntgenographischem Wege bestimmt, sondern durch Fortführung der Bogenrichtung, welche die Grenzlinien des rechten Vorhofes und des linken Ventrikels zeigen, konstruiert worden.

Da die üblichen Orientierungspunkte, *Mamillar-*, *Sternal-* und *Parasternallinie* bei jedem Individuum verschiedenartig liegen und daher unzuverlässig sind, bedient sich die Orthoröntgenographie gewisser fixer Punkte. Alle Maße der orthoröntgenographisch gefundenen Herzfigur werden auf die *Mittellinie,* d. h. die Verbindungslinie von Jugulum und Nabel bezogen. Die Einzeichnung dieser Linie macht man am besten so, daß man einen durch Karbolfuchsin gezogenen Faden mit dem einen Ende im Jugulum, mit dem anderen Ende auf den Nabel preßt und dann den Faden anspannt. Durch das Karbolfuchsin markiert er sich dauernd auf der Haut. Man spricht alsdann von Teilen des Herzens, welche links von der Mittellinie im Brustkorb untergebracht sind und solchen, welche

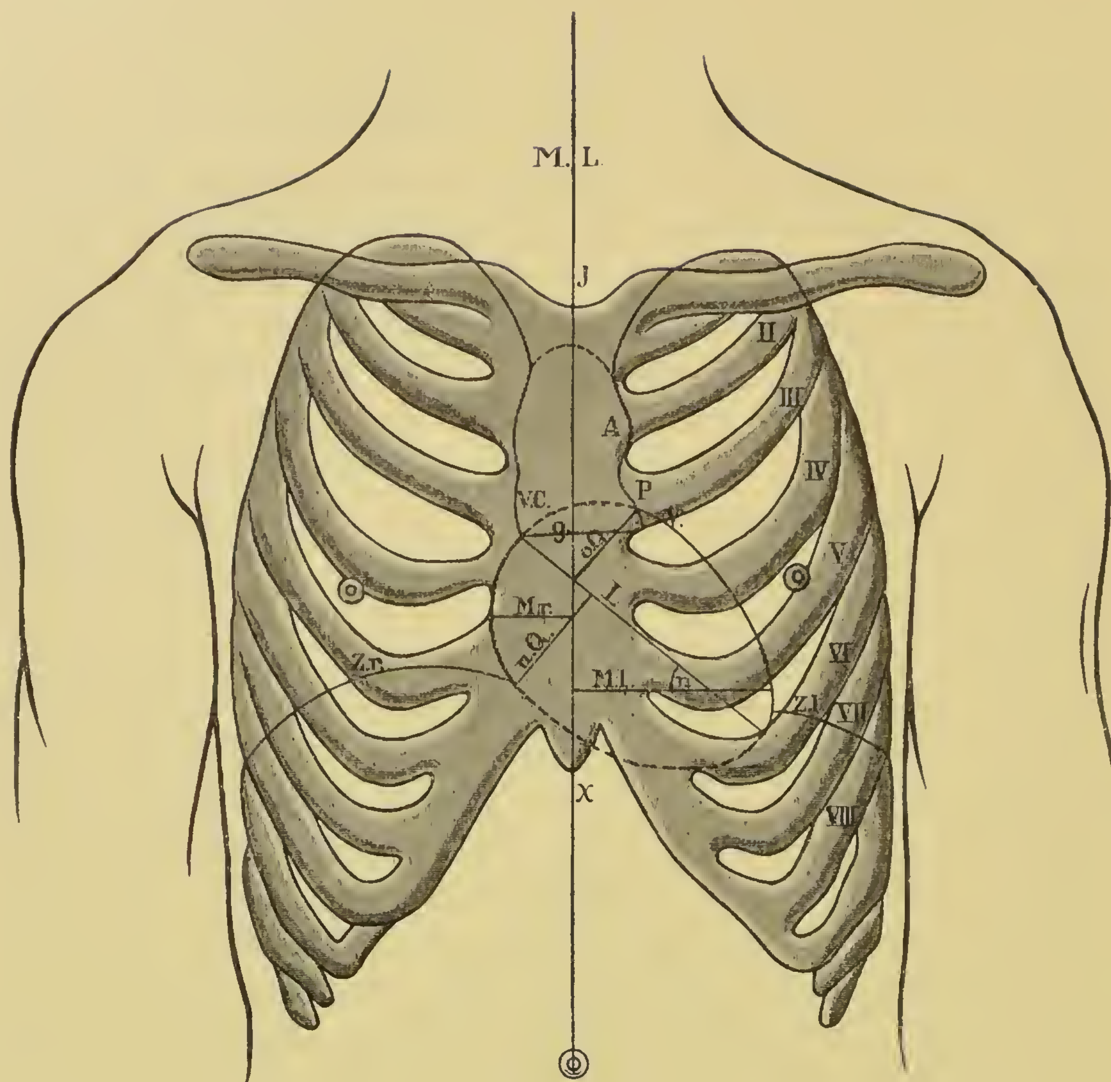


Fig. 209.

Mr = Medianabstand rechts.
Ml = Medianabstand links.
Mr + *Ml* = Transversaldurchmesser.
L = Längsdurchmesser (Sektionsdurchmesser).
oQ = oberer Querdurchmesser.
uQ = unterer Querdurchmesser.
oQ + *uQ* = Breitendurchmesser.
Zr = Zwerchfellkuppe rechts.
Zl = Zwerchfellkuppe links.
ML = Mittellinie (Verbindungslinie zwischen Jugulum u. Nabel
n = Neigungswinkel.
g = Gefäßwurzelbreite.
A = Aortenbogen.
P = Pulmonalbogen.
V = Vorhofbogen.
VC = Vena cava sup.
M = Mamilla.
J = Jugulum.
X = Xiphoideus.

rechts von ihr im Thorax liegen. Es werden nun von den Punkten der größten Konkavität links und rechts, die man durch zur Mittellinie parallele Tangenten an den Herzkonturen findet, Lote auf die Mittellinie gefällt. Diese beiden Linien entsprechen, die erstere ungefähr dem Durchmesser des linken Ventrikels, die letztere annähernd dem des rechten Vorhofes. Die Entfernung links, von der Spitze zur Mittellinie, wird „*Medianabstand links*", die korrespondierende Linie rechts „*Medianabstand rechts*" genannt. Ihre Summe ist der Transversaldurchmesser des Herzens. Alsdann wird eine Verbindungslinie vom Ansatz des Vena cava-Bogens rechts bis zur Herzspitze gezogen. Diese entspricht dem größten Durchmesser des Herzens oder dem sogenannten *Längen-, Gesamt- oder Sektionsdurchmesser*. Sie ist die wichtigste sämtlicher Messungslinien, da sie die absolute Größe des Gesamtherzens bestimmt. Vom Vorhofzwerchfellwinkel rechts wird ein Lot — unterer Querdurchmesser uQ — auf den Längsdurchmesser gefällt und ein gleicher vom unteren Ende des Pulmonalbogens links — oberer Querdurchmesser oQ —. Ihre Summe $uQ + oQ$ wird Breitendurchmesser genannt und entspricht annähernd dem Durchmesser des rechten Ventrikels. Der Neigungswinkel n zwischen Medianabstand links und Längsdurchmesser bestimmt die Stellung des Herzens im Thorax. Die Verbindungslinie der beiden oberen Herzecken g gibt die Breite der Gefäßwurzel, welche von Aorta, Pulmonalis und Vena cava gebildet wird, an. Sind diese sämtlichen Linien und Ergänzungslinien auf die Haut gezeichnet, so werden sie mittels Zentimetermaßes, bei gewölbtem Thorax mit dem Tasterzirkel, nachgemessen und aus den gefundenen Größen Schlüsse auf die Herzmaße gezogen[1].

Ausmessung der Herzfigur

Für die topographische Orientierung ist es wichtig das Jugulum, die Rippen, das Sternum, die untere Thoraxapertur und die Mamillen aufzuzeichnen. Für die Bestimmung der Lage des Herzens im Thorax leisten, wie von Moritz hervorgehoben wurde, dem ich mich aus eigener vielfacher Erfahrung anschließe, Mamillen- und Zwerchfellstand nichts. Der Stand der Brusthaut zu den Rippen wechselt je nach In- und Expiration, sowie bei horizontaler und vertikaler Körperhaltung Jugulum, Rippen, Sternum und Thorax-

[1]) Es ist, allerdings mehr vom theoretischen als praktischen Gesichtspunkt, wichtig zu wissen, daß bei erheblicher linksseitiger Herzvergrößerung infolge Abweichung der Herzspitze nach hinten eine Verkürzung des Längsdurchmessers eintreten kann. Hierfür hat Moritz ein Korrekturverfahren angegeben, welches in der Tiefenbestimmung der Herzspitze besteht, wodurch der Grad einer eventuellen Schräglagerung des größten Längsdurchmessers festgelegt wird. (*Fortschritte a. d. G. der Röntgenstrahlen Bd. 7., S. 169*).

Tiefenbestimmungen der Herzspitze

apertur sind dagegen für die anatomische Orientierung zuverlässig zu gebrauchen.

Vergleich von Orthoröntgenogrammen

Der Vergleich zweier Orthoröntgenogramme kann nur unter gewissen Kautelen vorgenommen werden. Als Merkzeichen für zwei zum Vergleich aufeinander zu legende Herzsilhouetten sind die Mamillen trügerisch, da dieselben keine fixen Punkte bilden. Der Mamillenstand kann ein wertvolles Hilfsmittel sein, aber er ist für sich allein nicht maßgebend. Bei Vergleichen zweier Orthoröntgenogramme gibt der Gefäßtrunkus den Anhalt. Der Zwerchfellstand ist wertlos, da er außerordentlich variabel ist. Zum Vergleich von Herzsilhouetten ist man nur dann imstande, wenn Herzspitze und unterer Teil des rechten Vorhofes genügend ausgezeichnet sind, so daß man die Gesamtoberfläche des Herzens, besonders die untere Herzgrenze, übersehen kann.

Um eine Kopie dieser auf der Körperoberfläche befindlichen Zeichnung zu erhalten, legt man dem Patienten eine Glasplatte auf die Brust und zeichnet die Figur durch. Von der Glasplatte wiederum läßt sich das Bild auf Pauspapier kopieren und von diesem auf Karton übertragen. Wir erhalten alsdann ein Schema wie in Fig. 212 abgebildet.

Übertragung von Orthoröntgenogrammen

Die Übertragung des Orthoröntgenogramms von der Haut auf eine Glastafel durch Visieren ist ein schwacher Punkt der Methode, da es schwer ist, den senkrechten Punkt für das Auge oberhalb des zu visierenden Punktes zu finden. Hierbei können leicht kleine Abweichungen entstehen. Unter Umständen wird der Fall eintreten, daß dieses Bild nicht vollständig die gleichen Maße zeigt, wie man sie soeben auf der Körperoberfläche mittels des Zentimetermaßes festgestellt hat. Es liegt daran, daß man eine Zeichnung, welche sich auf einer gewölbten Fläche befindet, auf eine horizontale Ebene übertragen hat. Die Schwankungen in den Maßen auf der Körperoberfläche und auf dem Papier werden im übrigen nur gering sein. Maßgebend bleiben unter allen Umständen aber die direkt durch Messung auf der Körperhaut gefundenen Größenverhältnisse.

Für die Übertragung von Orthoröntgenogrammen, besonders solcher, welche in der noch zu beschreibenden Vertikalstellung angefertigt sind, empfiehlt sich die photographische Aufnahme des Kranken. Wenn es auch als Regel gilt, die Übertragung stets in derselben Körperlage des Patienten vorzunehmen, in welcher das Orthoröntgenogramm angefertigt wurde, so kann man bei kräftigen, nicht fettleibigen Personen, bei denen ein Herabsinken der Brusthaut bei aufrechter Lage nicht zu befürchten ist, von dieser Vorschrift abgehen.

Die Methode ist die folgende:

Nachdem die Herz- und Zwerchfellgrenzen, sowie die übrigen Merklinien und verschiedenen Durchmesser auf die Haut punktiert sind, werden sie mit einem schwarzen (nicht blauen) Fettstift nachgezeichnet. Sodann wird der Patient aufrecht

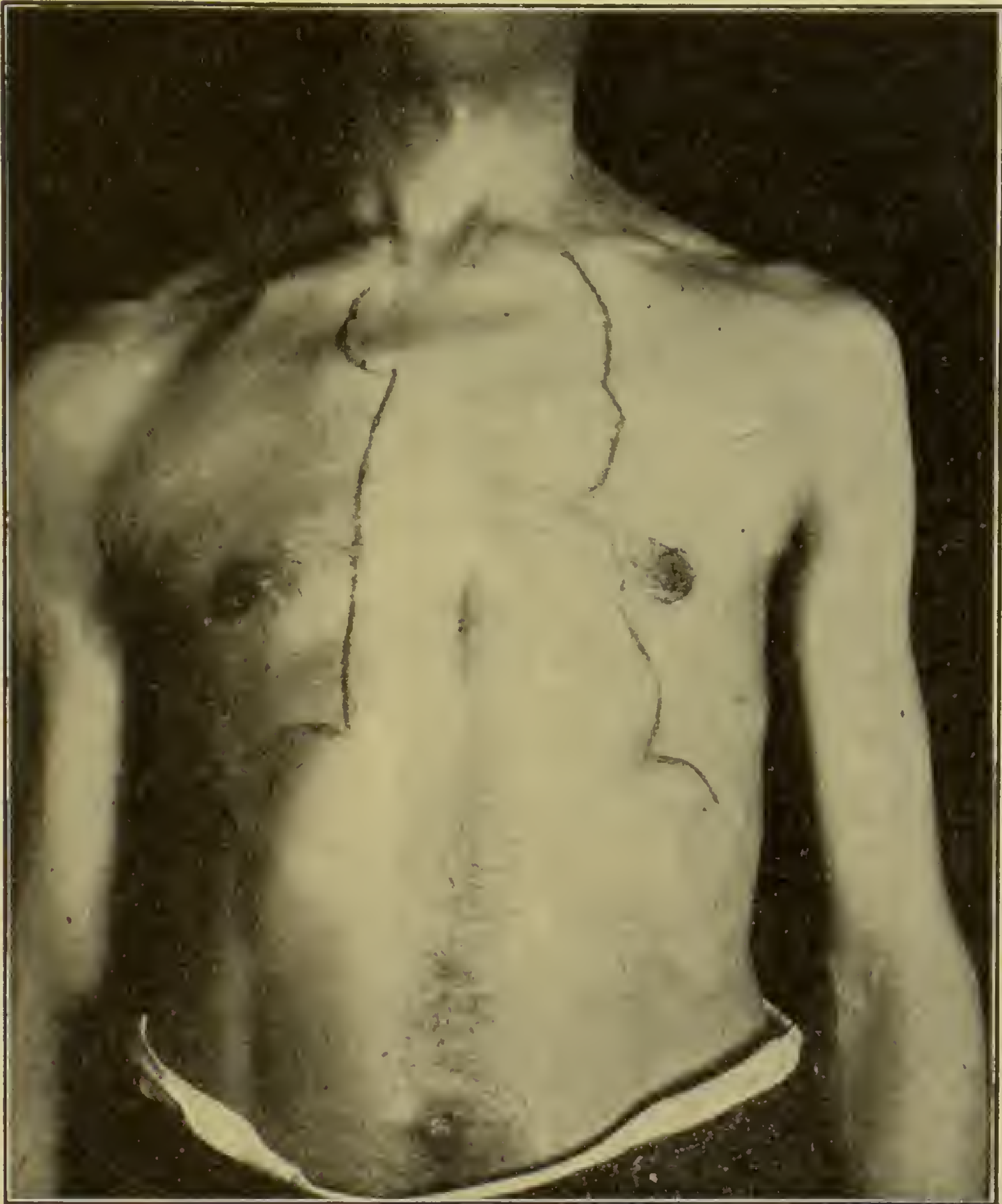


Fig. 210.

gegen ein an der Wand befestigtes Kissen gestellt und aus einer gewissen Entfernung mittels Blitzlicht photographiert. Das erhaltene Bild gibt in sehr übersichtlicher Weise die gefundenen Verhältnisse wieder und hat, namentlich wenn man ein größeres Format (18/24) wählt, den Vorzug, daß es einwandfrei mit später vorgenommenen orthoröntgenographischen Messungen verglichen

werden kann. Hierzu ist indessen erforderlich, daß die Aufnahmen stets bei gleichem Abstand des photographischen Apparates gemacht werden. Um dieses zu ermöglichen, ist auf dem Fußboden eine Marke anzubringen, auf welche die ein für allemal gleichmäßig eingestellte Kamera postiert wird. Die Bilder fallen in der Größe so gleichmäßig aus, daß man die zu verschiedenen Zeiten aufgenommenen Platten einfach übereinanderlegen und in der Durchsicht betrachten kann. Dieses Verfahren eignet sich besonders zum Anstellen von Vergleichen bei Herzvergrößerungen oder bei Aneurysmen.

Das vorstehende Bild (Fig. 210) (Aneurysma aortae) veranschaulicht ein in dieser Weise reproduziertes Orthoröntgenogramm. Es ist selbstverständlich, daß der Patient mit dem Rücken fest gegen die Wand gelehnt stehen und mit den Hacken die letztere berühren muß. Zweckmäßig übernagelt man die Wand mit einer Filzdecke oder einem gepolsterten Kissen, da anderenfalls der Kranke durch Kältegefühl belästigt werden würde.

Die orthoröntgenographischen Untersuchungen sind, wie schon gesagt, von außerordentlichem Wert und sollten häufiger als dieses bisher der Fall ist, vorgenommen werden. Besonders in Krankenhäusern, welche über ein reiches Material verfügen, müßte an eine jede Durchleuchtung bei Herzkranken sich eine orthoröntgenographische Aufnahme anschließen. Bei engen Räumlichkeiten bietet dieses beträchtliche Schwierigkeiten, da der Apparat erst aufgestellt und die Röhre zentriert werden muß. Diese Unbequemlichkeiten geben oft genug Veranlassung, auf die Orthoröntgenographie überhaupt zu verzichten. Will man von der letzteren wirklichen Nutzen haben, so muß der Orthoröntgenograph mit richtig eingestellter Röhre jederzeit gebrauchsfertig sein, so daß der Patient nach vollendeter Durchleuchtung innerhalb weniger Minuten orthoröntgenographiert werden kann. Man erreicht dieses dadurch, daß man einen besonderen Untersuchungstisch für die Orthoröntgenographie reserviert. Die Kabelzuführung muß wie im Kapitel „Krankenhauseinrichtungen" beschrieben, definitiv unter dem Tisch an Porzellanisolatoren angebracht sein, so daß man nur den Induktor an die Kabel anzuschließen braucht. Die Röhre wird aufs genaueste zentriert und dann mittels solider Schrauben derart festgestellt, daß eine Verschiebung nicht stattfinden kann. Da sich die Röhre unter dem Tisch befindet, besteht auch keine Gefahr des Zerbrechens. Wählt man gute mittelweiche Röhren zur Orthoröntgenographie, so empfiehlt es sich, diese bei anderen Aufnahmen nicht zu gebrauchen, damit man ihre Leistungsfähigkeit für orthoröntgenographische Untersuchungen

nicht herabsetzt. Von großem Nutzen sind hier die Horizontal-Wasserkühlröhren. In einem, in der vorstehenden Weise eingerichteten Laboratorium, kann die Orthoröntgenographie mit der sich sofort anschließenden Blitzlichtaufnahme innerhalb fünf Minuten gemacht werden.

Blitzlicht-aufnahmen

Bei den Blitzlichtaufnahmen hat man häufig damit zu kämpfen, daß das Blitzlichtpulver infolge mangelhaften Zündpapiers nicht abbrennen will. Hierdurch entsteht eine Verzögerung des Verfahrens und der Patient, namentlich Kinder, werden unter Umständen unruhig. Es empfiehlt sich daher, den Induktor zum Entzünden des Blitzlichtpulvers zu benutzen. Auf ein mit einer Blechplatte benageltes Holzbrett wird ein von dem Blech isolierter, gekrümmter Kupferdraht so angebracht, daß sein eines Ende 2 cm oberhalb der Blechplatte sich befindet. Unter die Spitze wird das Blitzlichtpulver auf die Blechplatte gestreut. Die Spitze des Drahtes darf nicht unmittelbar in das Pulver hineinreichen, sondern muß etwa $^1/_2$ cm über der Oberfläche des letzteren frei enden. Wird nun der eine Pol des Induktors mit der Blechplatte, der andere mit dem Kupferdraht verbunden, so genügt ein einziger Funkenüberschlag, um das Blitzlichtpulver[1]) mit absoluter Sicherheit zu entzünden. Der Rauch ist verhältnismäßig gering und kann schnell durch Lüftung wieder entfernt werden. Auf den fertiggestellten Blitzlichtaufnahmen der orthoröntgenographierten Patienten werden die näheren Daten, Tag der Aufnahme, Alter, Größe des Patienten und die gefundenen Maße usw. genau vermerkt. Hat man auch die perkutorischen Grenzen dem Patienten auf die Brusthaut gezeichnet, so empfiehlt es sich auf der fertiggestellten photographischen Reproduktion perkutorische und orthoröntgenographische Zeichnungen durch verschiedene Farben nachträglich kenntlich zu machen. Die Photogramme können kartoniert oder nicht kartoniert der Krankengeschichte einverleibt werden. Sie geben ein wesentlich übersichtlicheres und natürlicheres Bild, als die bekannten Orthoröntgenogramme auf Pauspapier.

Flächen-bestimmung der Herzfigur

Es ist von Moritz vorgeschlagen worden, eine Flächenbestimmung der gefundenen Figur in Quadratzentimetern vorzunehmen. Dieses läßt sich in der Weise ausführen, daß man auf quadriertes (cm) Papier die Herzfigur überträgt und ausschneidet. Man zählt alsdann die Quadrate und rechnet die Bruchteile der letzteren hinzu.

Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, daß man imstande ist, mittels der Orthoröntgenographie eine Messung des Herzens vorzunehmen, welche, falls man die nötige Übung hat, für klinische Zwecke an Exaktheit völlig ausreicht.

Aus der ganzen Konstruktion der Apparate, welche streng nach optischen Grundsätzen gebaut sind, erhellt ohne weiteres, daß hier ein Irrtum oder ein Fehler so gut wie ausgeschlossen ist. Versuche an leblosen Gegenständen, sowie an Leichen haben im

---

[1]) Friedrich Bayer & Co., Elberfeld.

übrigen ausreichend die Exaktheit der Methode erwiesen[1]). Es finden indessen gewisse Abweichungen der so gefundenen Herzgrenzen von der perkutorisch festgestellten relativen Dämpfung statt, über deren nähere Erklärung die Originalarbeiten einzusehen sind. (Moritz, Dietlen, Groedel u. andere.)

Man hat, wenn man im Besitz eines Orthoröntgenographen für horizontale und vertikale Untersuchungen ist, die Wahl zwischen diesen beiden Stellungen. Vom anatomischen Standpunkt ist die erstere zu bevorzugen, weil sich nach Moritz, Holzknecht, Dietlen, Rieder u. a. sowie nach meinen eigenen Erfahrungen die Herzlage im Stehen gegenüber derjenigen im Liegen verändert, so daß man unter Umständen bei vertikalen Aufnahmen eine bestehende Vergrößerung übersehen kann. Das Herz tritt beim Stehen in der Regel etwas tiefer, wodurch die Herzabmessungen sich verkleinern, so daß Differenzen von 1 cm nicht selten sind. Diese Verkleinerung des Herzschattens konnte ich auch bei Rückenlagerung bei einem Winkel von 45° beobachten. Hier war die Größe des Gesamtdurchmessers um 1 cm geringer als bei Aufnahme in vollständig horizontaler Lage.

Vorzüge der Horizontal-orthoröntgenographie

Ferner bedingt bei der Vertikalstellung die geringste Verdrehung des Patienten um seine Sagittalachse derartige Projektionsfehler, daß die gewonnenen Herzbilder vollständig unbrauchbar sind. Allein die Horizontallage gewährleistet eine völlige Ruhelage des Patienten.

Moritz[2]), der stets auf das bestimmteste die Horizontallage befürwortet hat, faßt die Ergebnisse seiner Untersuchungen in folgenden Worten zusammen:

Das Herz tritt bei Vertikalstellung ausnahmslos eine Strecke weit im Thorax herab. In der Mehrzahl der Fälle findet außerdem noch eine mehr oder weniger starke Steilstellung des Organs statt. Fast immer findet sich ferner eine Verkleinerung des Herzens in der Transversal- und der Breitendimension, sowie auch eine Verschmälerung des Gefäßtrunkus, an dem das Herz hängt. Der Längsdurchmesser des Herzens verhält sich bei Vertikalstellung verschieden. Im ganzen zeigt er eher Neigung sich zu verlängern. Dagegen zeigt die gesamte Vorderfläche des Organs eine Tendenz zur Verkleinerung. In manchen Fällen ist die Verkleinerung sehr deutlich. Da

[1]) Es ist darauf hinzuweisen, daß auf dem Medizinischen Kongreß in Leipzig 1904 eine eingehende Debatte über die Bestimmung der Herzgröße und ihre Technik stattgefunden hat. Das Endergebnis ist zusammenzufassen in folgender Schlußfolgerung:

Die wertvollste, weil exakteste und ergiebigste, Herzgrößenbestimmungsmethode ist:

„die Perkussion der absoluten Herzdämpfung“ und

„die Orthoröntgenographie“.

[2]) Archiv. für klin. Medizin, Bd. LXXXII.

nun auch die Dimension des Herzen in sagittaler Richtung sich im Stehen eher verkleinert, so muß es gelegentlich zu einer Abnahme des gesamten Herzvolums kommen.

Rieder schreibt in seiner Arbeit über die Untersuchungen der Brustorgane[1]) folgendes:

„Bei aufrechter und liegender Körperstellung ergeben sich, wenn die Arme stets in der gleichen Höhe gehalten werden und bei gleich stark gefülltem Magen, bekanntlich wesentliche Unterschiede nur in bezug auf den Herzschatten. Derselbe ist, da bei horizontaler Lage das Herz sich besser an die Brustwand anlegen kann, breiter als bei vertikaler Körperstellung, doch beträgt auf ventralen Thoraxbildern normaler Menschen der Unterschied in der basalen Herzbreite bei einer Fokusdistanz von 50 cm nur ungefähr 1 cm."

Ferner an anderer Stelle:[2])

„Es ist zu bemerken, daß das Herz für gewöhnlich bei Vertikalstellung des zu Untersuchenden nicht bloß länger und schmäler ist, sondern auch infolge seiner Schwere weiter nach abwärts tritt. Auch legt es sich, wie schon früher erwähnt, bei horizontaler Lage in größerer Breite an die Thoraxwand an, wobei namentlich die linke mediane Linie der basalen Herzbreite länger erscheint, als bei Untersuchung in Vertikalstellung."

Andere Autoren bevorzugen die Vertikaluntersuchung. Groedel z. B. macht seine orthoröntgenographischen Aufnahmen fast nur im Sitzen. Die Fehlergrenze fand er zwischen 0,2—0,5 cm und mehr. Am sichersten wird man gehen, wenn man in beiden Stellungen untersucht.

Normalmaße für die Herzmessung

Für die Beurteilung der Größenverhältnisse des menschlichen Herzens auf Grund von Orthoröntgenogrammen ist es wünschenswert, feste Normalmaße für die einzelnen Lebensalter, Geschlechter, sowie für die Körpergröße zu haben. Es ist in dieser Richtung neuerdings viel gearbeitet worden, so daß das Material zurzeit ausreicht, um bindende Normen aufstellen zu können. Erschwerend ist der Umstand, daß die Herzen gleichgroßer, gleichaltriger und gleichkräftiger Menschen in ihrer Größe nicht völlig gleich sind, so daß wir also auch hier mit individuellen Schwankungen zu rechnen haben. Von Moritz, Dietlen, Franke, Groedel und Veith sind für die verschiedenen Körpergrößen, Altersstufen und Geschlechter Normalmaße aufgestellt worden, welche sich zwar noch in gewissen Grenzen bewegend, doch schon genügend Anhalt bei der Beurteilung der Herzgröße nach Orthoröntgenogrammen gewähren.

In folgenden Tabellen nach Moritz, Dietlen, Groedel, Veith finden wir für verschiedene Körpergrößen die *Durchschnitts-*, *Maximal-* und *Minimalmaße* verzeichnet.

---

[1]) *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen Band 6, S. 117.*

[2]) l. c. S. 119.

Tabelle nach Moritz.

Erwachsene gesunde Männer (von 17—56 Jahre).

Normalmaße nach Moritz

Körpergröße		Medianabstand rechts cm	Medianabstand links cm	Längsdurchmesser cm	Querdurchmesser cm	Oberfläche qcm
153—157 cm	Durchschnitt . .	4,4	7,9	13,0	10,2	98
	Maximum . . .	4,8	8,0	13,5	10,5	100
	Minimum . . .	4,0	7,8	11,5	10,0	80
161—169 cm	Durchschnitt . .	4,4	8,3	13,4	10,5	102
	Maximum . . .	5,0	9,3	14,5	10,8	108
	Minimum . . .	3,5	7,5	12,8	9,0	87
171—178 cm	Durchschnitt . .	4,6	8,8	14,0	10,3	100
	Maximum . . .	5,9	9,7	15,3	11,0	126
	Minimum . . .	3,0	7,8	12,5	9,0	92

Tabelle nach Dietlen[1]).

Männer erwachsen (über 20 Jahre).

Normalmaße nach Dietlen

	Größenklasse		Mr cm	Ml cm	Tr cm	L cm	Br cm	Fl qcm
	I.	min.	3,1	8,2	11,9	12,1	8,5	91
	145—154 cm				149 41 55	=	=	=
Durchschnitt	Größe Mittel 151 cm	mitt.	**3,7**	**8,5**	**12,2**	**13,4**	**9,6**	**103**
	Gew. „ 47 kg	max.	4,4	8,8	12,6	14,1	10,5	112
	Alter „ 48 J.				153 50 58	154 48 27	154 48 27	153 50 58
	II.	min.	3,3	7,4	11,0	12,3	9,1	97
	155—164 cm				150 52 20	159 52 20	160 65 45	159 52 20
Durchschnitt	Größe Mittel 159 cm	mitt.	**4,2**	**8,7**	**12,9**	**14,0**	**10,2**	**111**
	Gew. „ 57 kg	max.	5,9	10,4	14,5	15,3	11,0	130
	Alter „ 24 J.				164 65 20	162 60 24	164 68 50	161 58 22
	III.	min.	3,0	6,8	11,3	12,5	9,2	96
	165—174 cm				169 63 55	172 53 35	165 62 30	168 62 29
Durchschnitt	Größe Mittel 170 cm	mitt.	**4,3**	**8,8**	**13,1**	**14,2**	**10,3**	**117**
	Gew. „ 64 kg	max.	5,7	9,7	15,3	15,9	11,7	138
	Alter „ 34 J.				171 84 37	171 61 60	170 55 21	172 61 60
	IV.	min.	3,5	8,1	13,1	13,4	10,0	111
	175—187 cm				182 68 44	176 53 63	177 59 21	176 53 63
Durchschnitt	Größe Mittel 182 cm	mitt.	**4,5**	**9,3**	**13,8**	**14,9**	**11,0**	**131**
	Gew. „ 71 kg	max.	5,8	11,0	15,0	16,2	11,4	149
	Alter „ 29 J.				184 78 22	184 74 20	182 68 44	184 74 20

[1]) Deutsches Archiv für klin. Medizin. 88. Bd.

Tabelle nach Dietlen.

Frauen erwachsen (über 17 Jahre).

Größenklasse		Mr cm	Ml cm	Tr cm	L cm	Br cm	Fl qcm
I.	min.	2,4	7,2	10,3	12,1	8,6	86
145—154 cm				154 42 29	154 42 29	150 55 42	154 60 19
Durchschnitt Größe Mittel 152 cm	mitt.	**3,5**	**8,3**	**11,8**	**12,8**	**9,5**	**94**
Durchschnitt Gew. „ 54 kg	max.	4,0	9,2	12,8	13,3	10,2	105
Durchschnitt Alter „ 26 J.				153 62 17	152 57 19	152 48 45	153 62 17
II.	min.	2,6	6,8	10,9	11,7	8,6	83
155—164 cm				163 48 18	160 52 21	163 55 18	155 50 18
Durchschnitt Größe Mittel 159 cm	mitt.	**3,5**	**8,5**	**12,0**	**13,3**	**10,1**	**102**
Durchschnitt Gew. „ 57 kg	max.	5,2	10,3	13,7	15,0	10,6	116
Durchschnitt Alter „ 26 J.				161 62 20	161 62 20	159 67 60	162 59 31
III.	min.	3,2	6,8	11,3	12,8	9,5	103
165—174 cm				166 56 26	167 70 19	165 63 17	167 70 19
Durchschnitt Größe Mittel 168 cm	mitt.	**3,9**	**8,8**	**12,7**	**13,6**	**10,2**	**109**
Durchschnitt Gew. „ 62 kg	max.	4,5	9,7	12,9	14,0	10,6	116
Durchschnitt Alter „ 22 J.				165 65 18	165 65 18	167 70 19	172 65 23

Tabelle nach Dietlen.

Frauen unerwachsen (15—17 Jahre).

Größenklasse		Mr cm	Ml cm	Tr cm	L cm	Br cm	Fl qcm
I.	min.	3,3	6,5	10,5	11,9	8,5	84
145—154 cm				150 43 15	154 45 16	150 43 15	154 45 16
Durchschnitt Größe Mittel 150 cm	mitt.	**3,5**	**7,5**	**11,0**	**12,4**	**9,2**	**92**
Durchschnitt Gew. „ 46 kg	max.	4,0	8,7	12,0	12,8	9,9	100
Durchschnitt Alter „ 16 J.				153 52 16	153 52 16	153 52 16	153 52 16
II.	min.	3,2	7,0	10,3	12,9	8,7	86
155—164 cm				160 41 16	156 58 15	157 55 16	160 43 15
Durchschnitt Größe Mittel 158 cm	mitt.	**3,5**	**8,0**	**11,5**	**13,2**	**9,3**	**95**
Durchschnitt Gew. „ 48 kg	max.	4,0	8,8	12,5	14,0	10,2	104
Durchschnitt Alter „ 16 J.				157 55 16	157 55 16	156 58 15	157 55 16
III.	min.	2,8	7,0	10,9	12,3	8,9	85
165—174 cm				166 58 16	165 49 15	165 49 15	165 49 15
Durchschnitt Größe Mittel 169 cm	mitt.	**3,4**	**7,7**	**11,1**	**12,7**	**9,6**	**92**
Durchschnitt Gew. „ 56 kg	max.	3,9	8,5	11,3	13,3	9,8	97
Durchschnitt Alter „ 16 J.				168 60 16	168 60 16	166 58 16	166 58 16

Tabelle nach Dietlen.

Männer unerwachsen (15—19 Jahre).

Größenklasse		Mr cm	Ml cm	Tr cm	L cm	Br cm	Fl qcm
I.	min.	3,4	7,1	10,6	11,4	8,2	78
145—154 cm				154 41 15	154 41 15	154 41 15	154 41 15
Durchschnitt: Größe Mittel 152 cm	mitt.	3,5	7,5	**11,0**	**11,8**	**9,3**	**88**
Gew. „ 43 kg	max.	3,7	7,8	11,2	12,5	10,5	96
Alter „ 16 J.				153 53 19	153 53 19	151 40 15	153 53 19
II.	min.	3,0	7,4	10,7	12,0	8,9	84
155—164 cm				159 50 16	159 50 16	164 50 18	161 50 16
Durchschnitt: Größe Mittel 159 cm	mitt.	3,8	8,0	**11,8**	**12,7**	**9,7**	**96**
Gew. „ 48 kg	max.	4,1	9,3	13,1	14,2	11,1	114
Alter „ 17 J.				163 59 19	163 59 19	158 42 15	163 59 19
III.	min.	3,4	7,0	11,0	12,5	9,5	95
165—174 cm				167 45 19	168 50 17	166 65 16	168 50 17
Durchschnitt: Größe Mittel 167 cm	mitt.	4,2	8,2	**12,4**	**13,6**	**10,3**	**109**
Gew. „ 60 kg	max.	5,1	8,8	13,8	15,2	10,9	121
Alter „ 18 J.				165 70 18	173 62 17	169 70 18	166 66 18
IV.	min.	3,6	6,5	10,4	12,7	9,8	98
175—182 cm				176 60 19	176 46 19	176 60 19	176 46 19
Durchschnitt: Größe Mittel 178 cm	mitt.	4,0	7,9	**11,9**	**13,7**	**10,3**	**109**
Gew. „ 58 kg	max.	4,3	8,8	12,4	14,4	11,1	125
Alter „ 19 J.				182 62 19	182 62 19	182 62 19	182 62 19

Zur Benutzung der Tabellen gibt Dietlen folgende Erklärung:

„Unter den Zahlen stehen (immer in gleicher Reihenfolge) Zahlen für Größe, Gewicht und Alter der betreffenden Person, von der der einzelne Grenzwert stammt. Es sind damit die physiologischen Bedingungen gekennzeichnet, die die Abweichungen der Grenzzahlen für die Herzgröße von den Durchschnittszahlen verursacht haben. Wenn man diese Einzeldaten mit den für die ganze Klasse berechneten Durchschnittszahlen (für Größe, Gewicht, Alter) vergleicht, so ergiebt sich meist als Grund einer vom Mittel abweichenden Herzgröße ein vom Durchschnittsgewicht weit abliegendes Körpergewicht oder eine größere Altersdifferenz.

Hat man bei einem Menschen die Herzmaße orthoröntgenographisch bestimmt, dann vergleicht man sie zunächst mit der Mittelzahl der Größenklasse, zu welcher der Untersuchte gehört. Findet man sie kleiner oder größer, dann kann das betreffende Herz immer noch als normal groß gelten, wenn das Gewicht des Untersuchten entsprechende Abweichungen nach unten oder oben von dem für die betreffende Klasse geltenden Durchschnittsgewicht zeigt. Anhaltspunkte hierfür liefern die Minimal- und Maximalwerte der Gruppe mit den sie charakterisierenden Angaben über Größe, Gewicht und Alter der Person, bei der sie gefunden wurden. Bei Leuten über 40 Jahren nähern sich die Herzmaße mehr den in den Maximalzahlen angegebenen Werten, auch wenn das Körpergewicht des Untersuchten das Durchschnittsgewicht seiner Klasse nicht übersteigt."

Tabelle nach Veith.

80 Knaben (liegend untersucht).

Normalmaße nach Veith

Körpergröße		M. r. cm	M. l. cm	Tr. cm	L. cm	Q. o. cm	Q. u. cm	Br. cm	Fl. qcm
	Min.	*2,4*	*5,45*	*8,2*	*8,85*	*2,7*	*3,6*	*6,35*	*43,5*
108—110	Mittel	**2,6**	**6,1**	**8,7**	**9,3**	**3,14**	**3,74**	**6,9**	**51**
cm	(aus 4 Fällen)								
	Max.	*2,75*	*6,7*	*9,1*	*9,5*	*3,6*	*3,95*	*7,45*	*54,5*
	Min.	2,15	5,85	8,75	9,35	3,1	3,65	7,15	56,5
111—120	Mittel	**2,9**	**6,35**	**9,25**	**9,9**	**3,4**	**4,48**	**7,85**	**63,5**
cm	(aus 17 Fällen)								
	Max.	3,4	7,0	9,8	10,55	4,2	5,35	8,45	69,5
	Min.	2,25	6,0	9,2	9,9	3,25	3,2	7,7	52,5
121—130	Mittel	**3,0**	**6,9**	**9,9**	**10,6**	**3,94**	**4,46**	**8,5**	**72,5**
cm	(aus 28 Fällen)								
	Max.	3,75	8,25	11,15	12,0	5,1	5,05	9,25	82
	Min.	2,45	5,8	9,05	9,8	3,25	3,4	7,6	66
131—140	Mittel	**3,3**	**6,9**	**10,2**	**10,9**	**3,7**	**4,7**	**8,5**	**77**
cm	(aus 25 Fällen)								
	Max.	4,3	8,05	11,6	12,0	4,65	5,85	9,65	95
	Min.	*3,15*	*6,4*	*9,35*	*11,25*	*3,55*	*4,05*	*8,3*	*80*
141—150	Mittel	**3,7**	**7,0**	**10,7**	**11,6**	**4,24**	**4,87**	**9,1**	**85,5**
cm	(aus 6 Fällen)								
	Max.	*4,5*	*7,5*	*11,5*	*12,15*	*4,65*	*5,55*	*9,65*	*94*

Tabelle nach Veith.

70 Kinder (sitzend untersucht).

Körpergröße		M. r. cm	M. l. cm	Tr. cm	L. cm	Q. o. cm	Q. u. cm	Br. cm	Fl. qcm
	Min.	*2,0*	*5,0*	*7,4*	*8,0*	*2,7*	*3,1*	*6,1*	*44*
102—110	Mittel	**2,55**	**5,45**	**8,0**	**8,4**	**3,3**	**3,6**	**6,9**	**47**
cm	(aus 4 Fällen)								
	Max.	*3,3*	*6,2*	*8,4*	*8,6*	*3,9*	*4,5*	*7,7*	*49*
	Min.	2,2	5,4	8,4	8,6	2,9	3,6	6,6	51
111—120	Mittel	**2,85**	**5,97**	**8,82**	**9,3**	**3,3**	**4,4**	**7,7**	**58**
cm	(aus 12 Fällen)								
	Max.	3,7	6,8	9,8	9,9	3,9	5,6	8,4	64
	Min.	2,2	5,2	8,2	9,0	2,7	3,7	7,3	54
121—130	Mittel	**3,04**	**6,35**	**9,4**	**10,1**	**3,65**	**4,51**	**8,16**	**64**
cm	(aus 20 Fällen)								
	Max.	3,8	7,5	10,75	11,5	4,7	5,4	8,7	77
	Min.	2,1	6,1	8,7	9,3	3,0	3,5	7,2	63
131—140	Mittel	**3,08**	**6,79**	**9,87**	**10,9**	**3,81**	**4,56**	**8,37**	**72,5**
cm	(aus 28 Fällen)								
	Max.	4,5	8,3	11,4	12,0	5,3	5,7	9,5	82
	Min.	*2,8*	*7,0*	*9,5*	*10,3*	*3,0*	*4,6*	*8,5*	*69*
141—150	Mittel	**3,11**	**7,28**	**10,39**	**11,1**	**3,95**	**5,2**	**9,15**	**78**
cm	(aus 8 Fällen)								
	Max.	*3,45*	*8,2*	*11,3*	*12,1*	*4,9*	*5,9*	*10,0*	*90*

Vertikalmaße.

Tabelle nach Groedel.

Normalmaße nach Groedel

I. Männer erwachsen.

	M. R.	M. L.	T.	L.
I. 145—154 cm				
Min.	4,0	8,0	12,0	12,0
Mittelz.	4,7	8,4	13,1	12,9
Max.	5,2	9,2	14,4	14,2
II. 155—164 cm				
Min.	3,5	7,4	12,1	13,0
Mittelz.	4,5	8,7	13,0	13,9
Max.	5,3	9,5	14,1	15,0
III. 165—174 cm				
Min.	3,7	7,2	11,4	12,0
Mittelz.	4,5	8,7	13,2	14,0
Max.	5,6	10,2	14,6	15,3
IV. 175—185 cm				
Min.	4,0	7,3	12,0	13,3
Mittelz.	4,7	8,5	13,2	14,2
Max.	5,4	9,0	13,6	14,7

II. Männer unerwachsen.

	M. R.	M. L.	T.	L.
I. 145—154 cm				
Min.	3,2	7,0	10,5	11,2
Mittelz.	3,9	7,4	11,3	11,8
Max.	4,5	8,0	12,0	12,5
II. 155—164 cm				
Min.	3,6	7,2	11,2	11,2
Mittelz.	4,4	7,9	12,3	12,4
Max.	5,2	8,3	13,5	13,8
III. 165—174 cm				
Min.	3,9	7,0	11,6	11,3
Mittelz.	4,3	7,9	12,1	13,1
Max.	4,7	8,5	12,5	14,3
IV. 175—187 cm				
Min.	4,0	8,0	12,0	13,6
Mittelz.	4,0	8,0	12,0	13,7

III. Weiber erwachsen.

I. 145—154 cm				
Min.	3,0	6,2	10,1	11,0
Mittelz.	3,8	8,0	11,8	13,0
Max.	4,5	9,3	13,1	13,5
II. 155—164 cm				
Min.	3,2	6,4	10,4	11,5
Mittelz.	3,8	8,0	11,8	13,0
Max.	5,0	9,5	14,3	14,8
III. 165—174 cm				
Min.	3,2	6,5	10,8	12,0
Mittelz.	4,0	8,1	12,1	13,2
Max.	4,5	9,8	14,0	14,5

IV. Weiber unerwachsen.

I. 145—154 cm				
Min.	2,5	6,5	9,0	10,5
Mittelz.	3,1	7,0	10,1	11,2
Max.	4,0	7,8	11,0	12,0
II. 155—164 cm				
Min.	2,8	6,5	9,0	10,5
Mittelz.	3,8	7,6	11,4	12,3
Max.	5,2	8,7	12,7	14,0
III. 165—174 cm				
Min.	4,0	6,6	10,6	10,6
Mittelz.	4,1	7,0	11,1	11,8
Max.	4,2	7,4	11,6	13,0

Bei Beurteilung des Wertes der in den Tabellen gegebenen Größenverhältnisse ist zu bedenken, daß der Längsdurchmesser, da er die Gesamtgröße des Herzens mißt, der wichtigste von allen ist. Während wir es beim Medianabstand sowohl rechts wie links nur mit Annäherungswerten zu tun haben, gibt uns der Längsdurchmesser ein absolutes auch von der Lage des Herzens im Thorax unbeeinflußtes Maß in die Hand. Er entspricht indessen nicht dem Durchmesser der wandständigen Partie des Herzens, sondern demjenigen des größten der Brustwand parallel liegenden Frontalschnittes des letzteren. Somit ist es klar, daß man die perkutorische Grenze nicht ohne weiteres mit der orthoröntgenographisch gefundenen vergleichen kann, daß vielmehr gewisse Korrekturen anzubringen sind, weil wandständige Partien des Herzens perkutiert werden, dagegen die abgelegenen Teile des Herzens perkutorisch nicht zu erreichen sind.

Die in den Rubriken als Breitendurchmesser angegebenen Zahlen beziehen sich auf den Durchmesser, welchen man vom Winkel zwischen rechtem Vorhof und rechter Zwerchfellkuppe zur Ansatzstelle des Gefäßschattens nach links oben zieht, oder aus der Summe der beiden Lote, welche man vom Vorhof-Zwerchfellwinkel unten und vom Gefäßansatzpunkt oben auf den Gesamtdurchmesser fällt. Man nimmt an, mit ihm den Durchmesser des rechten Ventrikels bestimmen zu können. Dieses Maß ist indessen inkonstant. Außerdem ist nach Dietlen zu bedenken, daß der Breitendurchmesser von der Lagerung des Herzens im Thorax abhängig ist. Bei sehr breitem Brustkorb fallen die Maße größer, bei sehr schmalem kleiner aus.

Die Oberflächenbestimmung des Herzens in Quadratzentimetern gibt ebenfalls nur Annäherungswerte und kann infolgedessen, wenn ihr auch eine wissenschaftliche Bedeutung zukommt, für die Praxis zurzeit noch nicht nutzbar gemacht werden.

Haben wir nun eine Vergrößerung des Herzens vor uns, so nehmen die Durchmesser entweder *sämtlich* oder nur *teilweise* zu. Erhält man einen vergrößerten Gesamtdurchmesser, so kann man mit Recht sagen, daß das Herz in toto vergrößert ist. Ist bei diesem Herzen der *Medianabstand rechts* von normaler Größe, der *Medianabstand links* dagegen vergrößert, so kann man annehmen, daß die festgestellte Vergrößerung des Herzens vorwiegend auf Kosten des in der linken Thoraxseite untergebrachten Teiles des Herzens, mit anderen Worten des linken Ventrikels kommt. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn der *Medianabstand links* die normalen Verhältnisse zeigt. Es ist indessen große Vorsicht nötig, denn eine Verlagerung des Herzens oder eine Ver-

drehung desselben könnte zu den größten Fehlschlüssen Anlaß geben, wie dieses z. B. in klassischer Weise bei der Mitralstenose der Fall sein kann.

„Hier hat sich die linke Herzgrenze scheinbar nach links verschoben und zwar durch das dilatierte rechte Herz. Man findet links und rechts hinausgeschobene Grenzlinien. Die Ursache für beide Verschiebungen liegt allein an der Dimension des rechten Herzens." (Karfunkel.)

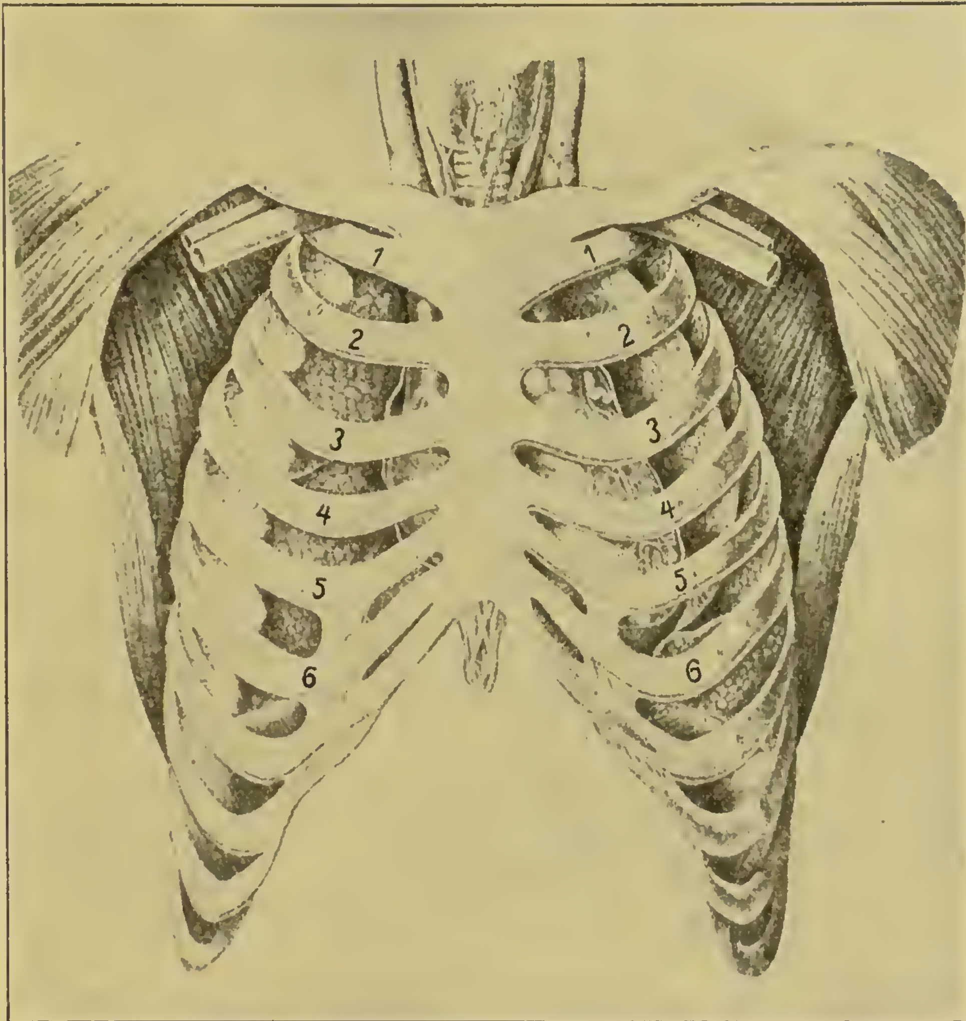


Fig. 211.

Findet man den Transversaldurchmesser, d. h. die Summe der beiden Medianabstände normal groß, so kommt der Vergrößerung eines der Medianabstände keine Bedeutung zu.

Die Frage, ob man eine Dilatation oder eine Hypertrophie vor sich hat, kann aus dem Röntgenverfahren nicht entschieden werden. Das letztere gibt uns nur die nackte Tatsache, daß eine Vergrößerung vorliegt. Ob diese Vergrößerung auf Erweiterung des Herzens oder auf Dickenzunahme seiner Wandungen beruht, muß der klinischen Entscheidung überlassen bleiben.

Bei der Beurteilung der normalen Herzlage sind folgende Mitteilungen von Moritz[1]) zu beachten.

„Normalerweise findet sich die Herzspitze in der Regel in dem Raum zwischen der Mitte der fünften und dem oberem Teile der sechsten Rippe eventuell noch tiefer. Die Umbiegung des Herzrandes zu den großen Gefäßen liegt rechts nahe dem Sternalrand, gewöhnlich in der Höhe der dritten Rippe, wie des dritten Interkostalraumes, links meist etwas höher, in der Höhe der dritten Rippe bis des zweiten Interkostalraumes. Der Stand der Zwerchfellkuppe am Herzrand schwankt rechts meist zwischen Mitte der fünften Rippe und fünftem Interkostalraum, links zwischen fünftem Interkostalraum und

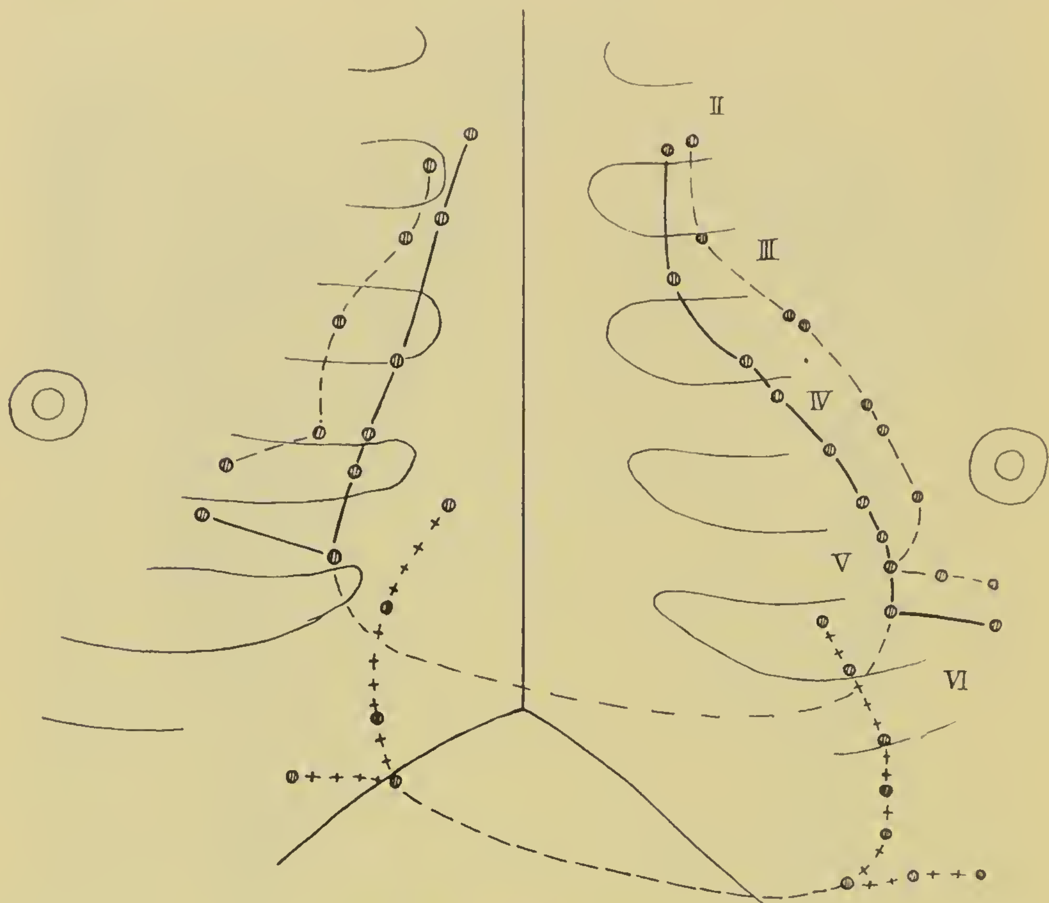


Fig. 212 (nach Moritz).

sechster Rippe. Links ist er bekanntlich fast regelmäßig tiefer als rechts, meist etwa 1—2 cm, selten weniger oder mehr. Die vorstehenden Angaben beziehen sich auf die mittlere Respirationsstellung bei möglichst ruhiger Atmung. Tiefere Zwerchfellatmung bedingt dagegen erhebliche Höhenverschiebungen des Herzens. Mit stärkerer Einatmung steigt das Organ sehr merklich auf und ab, so daß ruhige Atmung oder eventuell Berücksichtigung immer nur derselben Atmungsphase erforderlich sind, um exakte Orthoröntgenogramme aufnehmen zu können . . . Bei tiefster Inspirationsstellung haben wir in einem Falle ein Herabrücken des Herzens bis zu 5 cm gegenüber der Stellung bei ruhiger Respiration und bei tiefster Exspiration ein Heraufrücken bis zu 2,5 cm gefunden, so daß die ganze Breite der Verschiebung 7,5 cm betrug. Die Verschiebung des Zwerchfells fiel hierbei noch etwas

[1]) *Münchener Medizinische Wochenschrift Nr. 1 1902.*

größer aus, indem es bei der Exspiration höher hinter dem Herzen hinaufstieg und bei der Inspiration sich weiter von ihm abzog. Wie ersichtlich, kann das Herz bei Inspiration zu einem beträchtlichen Teile in den Rippenbogenwinkel einrücken."

Das nebenstehende Orthoröntgenogramm Fig. 212 bezieht sich auf die vorstehenden Worte von Moritz, dem ich zum besseren Verständnis ein anatomisches Bild nach Luschka anfüge (Fig. 211).

Wenn das Herz derartige Lageveränderungen infolge der Respiration, d. h. infolge des Auf- und Niedersteigens des Zwerchfells ausführen kann, so tritt diese Höhenverschiebung des Herzens selbstverständlich auch dann ein, wenn der Zwerchfellstand einer Seite aus irgendwelchen Gründen besonders tief ist. Nehmen wir die Lage der Mamillen normalerweise zwischen vierter und fünfter Rippe an, so kann bei Zwerchfelltiefstand ein Abstand bis zu 9,5 cm zwischen Mamille und Herzspitze erreicht werden. Mamillenabstand

Was die oft beobachtete Differenz des Abstandes der Mamillen von der Mittellinie angeht, so verweise ich auf eine Arbeit von Karfunkel[1]). Daselbst ist von 96 Fällen der Mamillenstand, zur Mittellinie gemessen, genau angegeben. Aus der Tabelle geht hervor, daß Differenzen bis zu 1 cm durchaus nicht selten sind.

In Fig. 213 und 214 sind zwei Fälle von Aortenaneurysmen abgebildet, welche ebenfalls einer Moritzschen Publikation entstammen. In Fig. 214 ist die Herzoberfläche, sowie die Oberfläche des Aneurysmaschatten in Quadratzentimetern angegeben.

Außer der direkten Aufzeichnung der Herzfigur auf die Brustwand, erlauben die verschiedenen orthoröntgenographischen Apparate, wie schon erwähnt, auch die unmittelbare Projektion auf Papier. An Stelle des durchbohrten Leuchtschirms wird ein Holzrahmen, welcher einen Leuchtschirm von der Größe 30×40 trägt, eingesetzt und auf den letzteren ein Stück Pauspapier gelegt. Nach Einschaltung der Röhre erkennt man, durch das Papier hindurchschimmernd, das Herz auf dem Schirm. Man verfährt nun genau in derselben Weise wie bei der direkten Aufzeichnung, und zwar so, daß auf das Pauspapier mittels der Schreibvorrichtung die Herzgrenzen aufpunktiert werden. Auch auf dieser Zeichnung müssen die nötigen Merkpunkte wie Mittellinie usw. eingetragen werden. Übertragung auf eine besondere Ebene

Ich bevorzuge die Methode der direkten Aufpunktierung auf die Brusthaut.

Die Aufzeichnung auf eine besondere Projektionsebene gibt bei horizontaler Lage des Patienten zwar die exaktesten Resultate, aber die senkrechte Projektion der Mittellinie und der übrigen

[1]) *Zeitschrift für klinische Medizin Band 43, Heft 2 und 3.*

anatomisch-topographischen Merkpunkte ist umständlich und unsicher. Bei der vertikalen Stellung dagegen ist die Projektion auf eine Zeichenfläche, wenn man nicht über besonders zweckmäßig konstruierte Apparate (z. B. Groedel) verfügt, unsicher, da das völlig ruhige Stehen des Patienten oft sehr schwer zu erreichen ist, und da auch hier die Bestimmung der Mittellinie auf Schwierigkeiten stößt. Es dürfte daher, wenn man die Wahl hat und die exaktesten Resultate erzielen will, angezeigt sein, in horizontaler Lage bei direkter Projektion auf die Körperhaut zu untersuchen.

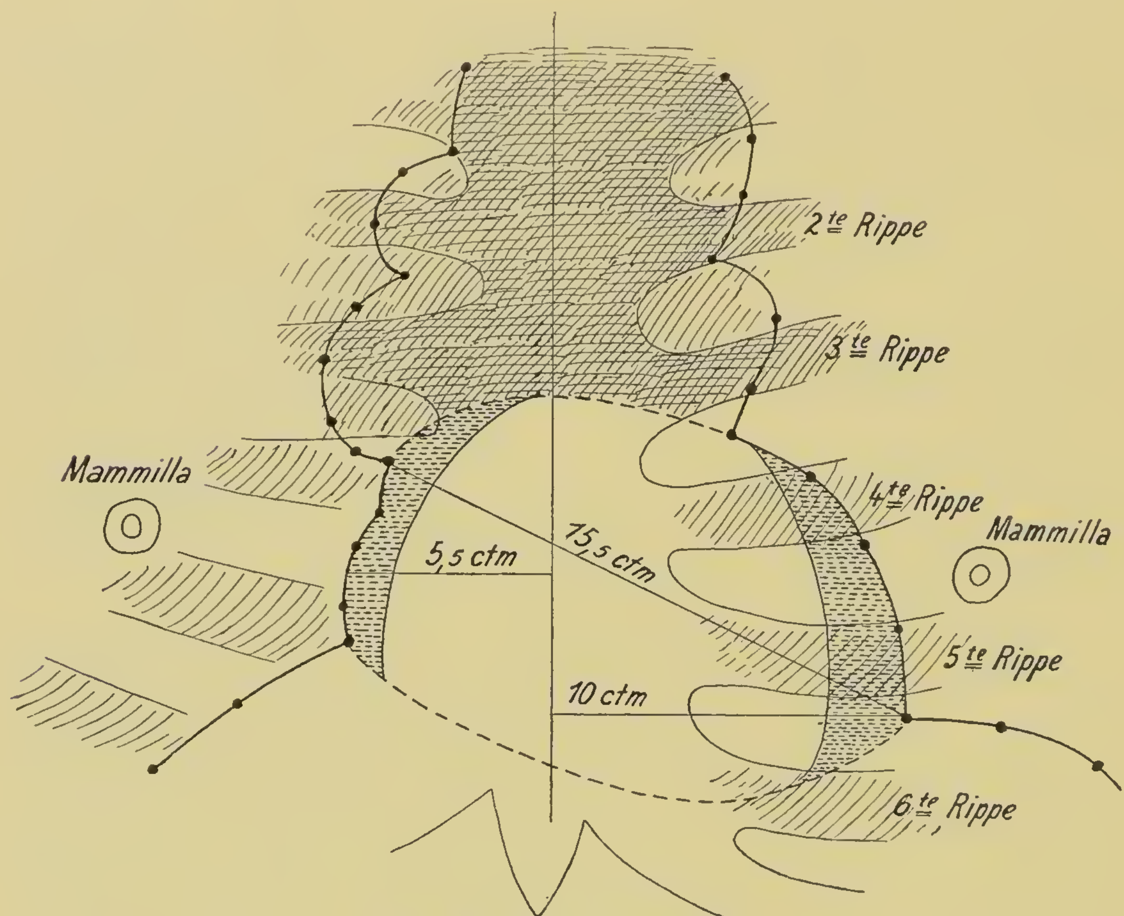


Fig. 213 (nach Moritz).

Bei Frauen ist die direkte Aufzeichnung auf die Haut meist mit Schwierigkeiten verbunden, da ein Teil der Herzzeichnung auf die Mammae fallen würde. Sie gibt in der Reproduktion infolge Heruntersinken der Brust einen unrichtigen Eindruck. Es ist daher die Aufzeichnung auf eine vom Körper unabhängige Ebene zu wählen.

Groedel bevorzugt die Orthoröntgenographie auf eine besondere Zeichenfläche mittels seines extra für diesen Zweck konstruierten Orthoröntgenographen, welcher die Übertragung der anatomischen Merkpunkte in idealer Weise durch Verlegung der Zeichenebene hinter die Röhre gewährleistet.

Wohl allgemein wird in Übereinstimmung mit den Moritzschen Untersuchungen die orthoröntgenographische Aufnahme bei Rückenlage des Patienten auf eine der Brusthaut parallele besondere Ebene als die optisch einwandsfreieste und für die anatomische Beurteilung günstigste bezeichnet. Der ihr anhaftende Nachteil besteht in der Schwierigkeit, die erforderlichen Merkpunkte und Merklinien, wie Mamillen und Mittellinie des Körpers richtig in das fertige Orthoröntgenogramm zu übertragen. Man hat sich bisher damit geholfen, die genannten Punkte resp. Linien durch Bleimarken auf der Körperhaut zu markieren und sie dann orthoröntgenographisch aufzunehmen. Auf Exaktheit kann diese Methode keinen Anspruch machen, da bei ihr dieselben Fehlerquellen störend wirken, welche, in der technischen Unsicherheit des Untersuchers beruhend, Abweichungen bei der Übertragung bedingen. In der richtigen Erkenntnis dieser Tatsache hat man es vielfach vorgezogen auf diese Art der Projektion überhaupt zu verzichten und die Aufzeichnungen direkt auf die Körperoberfläche vorzunehmen.

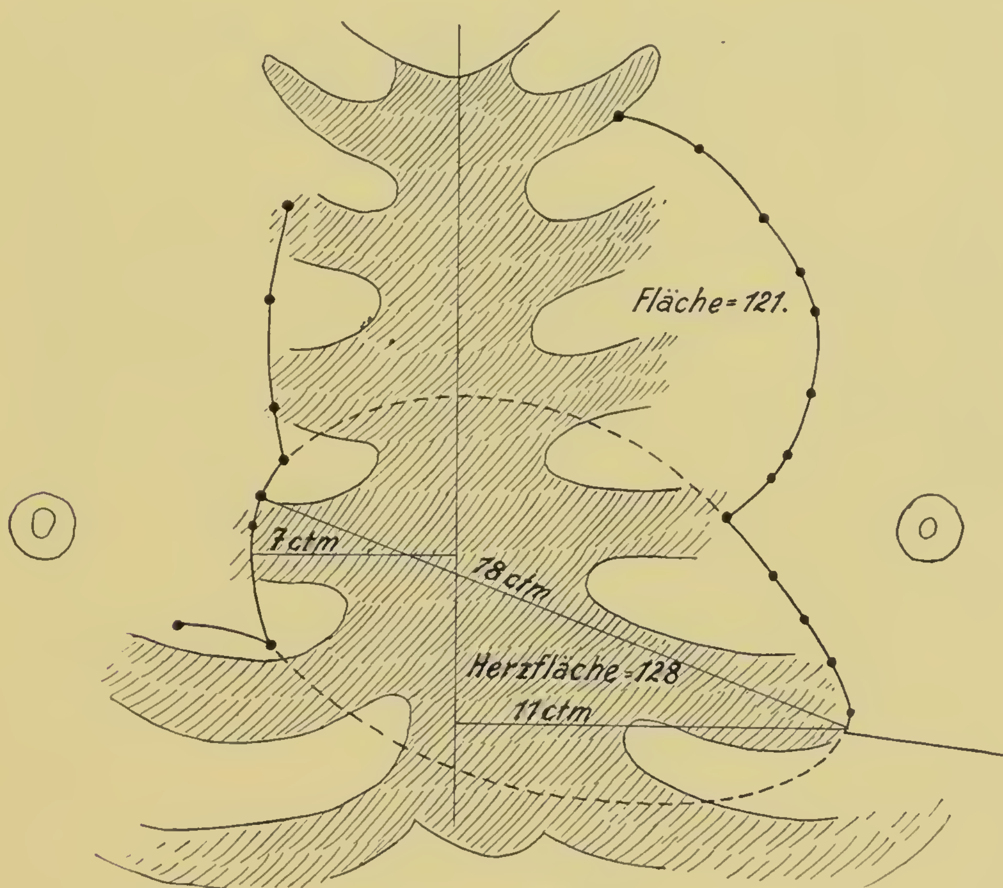


Fig. 214 (nach Moritz).

Zur anatomisch richtigen Übertragung der Mittellinie und Mamillen habe ich folgenden Apparat[1]) konstruiert, der für die-

---

[1]) Hergestellt von Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen.

jenigen, welche den Groedelschen Orthoröntgenographen nicht besitzen, ein zweckmäßiger Ersatz ist.

Aus der Mitte des Zeichenbrettes (Fig. 215 und 216) sind 9 cm vom oberen Rand, 14 cm vom unteren Rand entfernt zwei Rechtecke (*a* und *b*) von 7 cm Länge 1 cm, Breite eingeschnitten. An der Unterseite des Zeichenbrettes ist in der Längsrichtung eine Messingstange (*c*, *c*) von 61 cm Länge, $1^1/_2$ cm Breite, in der Seitenrichtung verschieblich, angebracht. Diese Verschieblichkeit ist dadurch erreicht, daß die Stange mit zwei, die obere und untere

Übertragung der Mittellinie

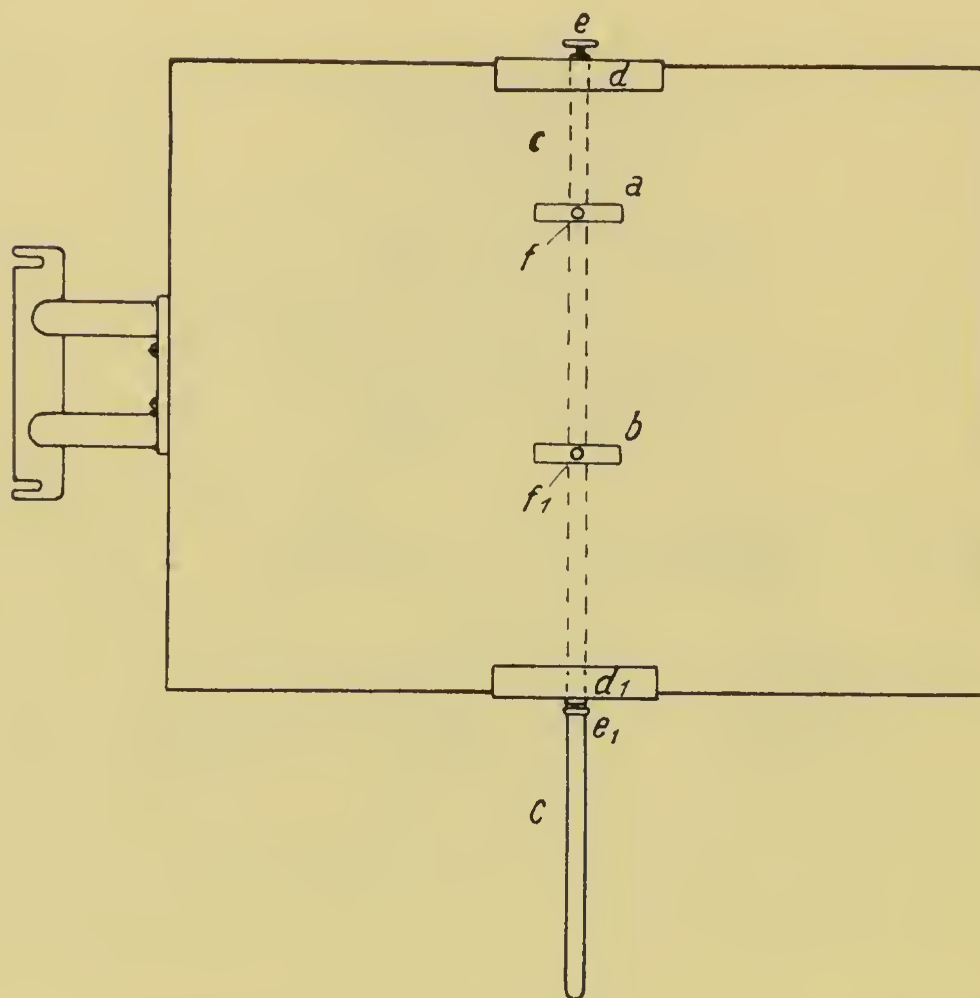


Fig. 215.

Zeichenbrettkante umfassenden und hier leicht hin- und hergleitenden Klammern (*d* und d_1) versehen ist. Zur Feststellung der letzteren dienen zwei Stellschrauben (*e* und e_1). An den, den Ausschnittstellen des Zeichenbrettes entsprechenden Punkten ist je ein kurzes Messingrohr (*f* und f_1) von $2^1/_2$ cm Länge und ca. 8 mm Durchmesser aufgelötet und der sie tragende Messingstab (*c*) an dieser Stelle genau entsprechend dem Kaliber der Rohre durchbohrt. Die Länge dieser zwei kleinen Rohre ist so groß gewählt, daß sie die Ebene des Zeichenbrettes um 2 mm überragen.

Zur Aufnahme des Orthoröntgenogramms benutzt man weißen Karton, in welchen mittels eines Lochers zwei der Entfernung der beiden kleinen Messingrohre entsprechend auseinanderstehende Löcher eingestanzt sind (Fig. 217 f und f_1). Der Karton wird über die die Ebene des Zeichenbrettes etwas überragenden Rohre geschoben und liegt dann ebenso plan und fest, als wäre er mit Heftnägeln auf dem Zeichenbrett befestigt worden. Dieser so montierte Karton kann infolge der oben beschriebenen rechteckigen Ausschnitte im Zeichenbrett, in welchen die Röhrchen mit ihrer sie

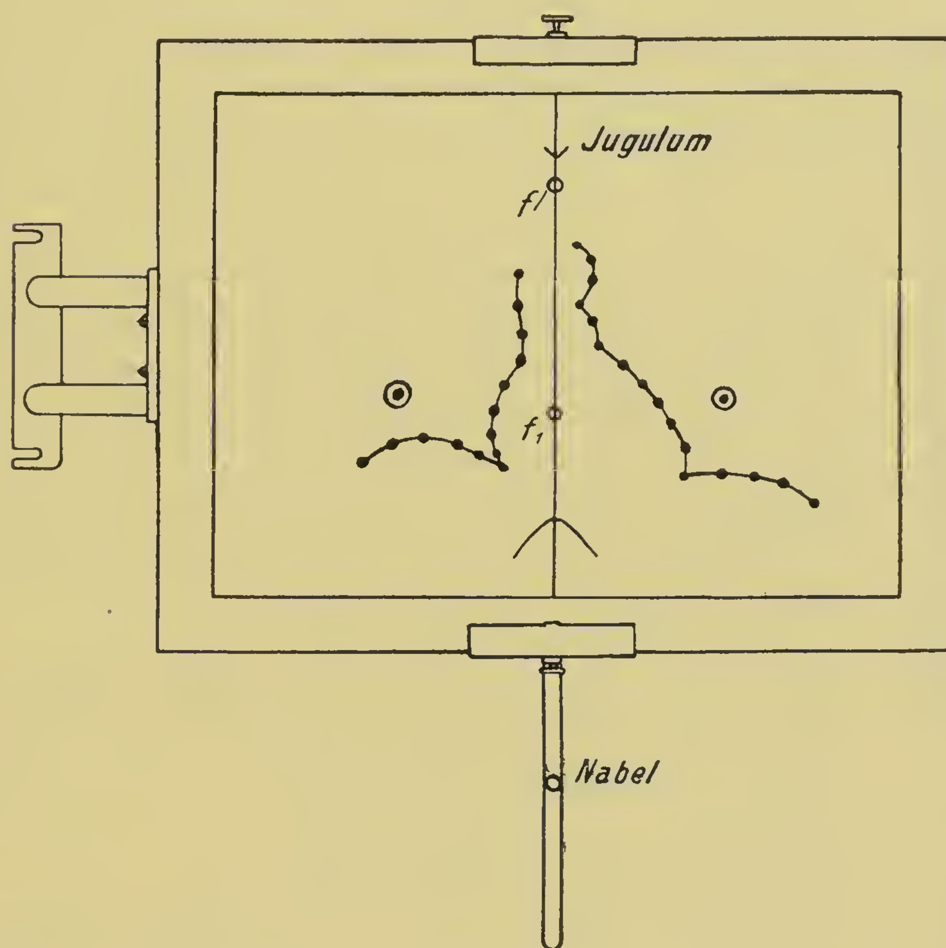


Fig. 216.

verbindenden Stange hin und her gleiten, seitlich so weit die Ausschnitte reichen, nach rechts und links verschoben werden. Auf den Zweck dieser Verschiebung werde ich weiter unten zu sprechen kommen.

Betrachtet man die Fig. 217, so ergibt sich, daß wir in der Verbindungslinie der Zentra der beiden Röhren, sowie in ihrer Verlängerung nach oben und nach unten entlang der Metallstange, eine Linie haben, welche gleichzeitig mit dem Karton um einige cm nach rechts und links verschoben werden kann. Gelingt es,

diese Linie vor Aufnahme des Orthoröntgenogramms mit der Körpermittellinie des Patienten zur Deckung zu bringen, so ist die Aufgabe der exakten Übertragung der Körpermittellinie gelöst. Man verfährt nun folgendenmaßen:

Zunächst wird dem zu Untersuchenden die Mittellinie (Verbindungslinie zwischen der Mitte des Jugulum und des Nabels) auf die Haut gezeichnet. Hierauf wird das mit Karton armierte Zeichenbrett über dem Patienten am Orthoröntgenographen befestigt, dann die mittels der Röhrchen den Karton tragende Messingstange, so lange seitlich verschoben, bis man beim Visieren durch die beiden Röhrchen die Körpermittellinie sieht. Zum Visieren benutzt man zweckmäßig ein auf die Röhrchen aufzusetzendes metallenes Rohr von gleichem Kaliber, welches im Innern zwei Fadenkreuze trägt. Diese Einstellung ist sehr schnell auszuführen, wenn man vorher zur vorläufigen groben Einstellung das untere Ende der Messingstange mit dem Nabel zur Deckung gebracht hat. Ist die Einstellung vollendet, so fixiert man die Messingstange durch die beiden Stellschrauben (e und e_1) und orthoröntgenographiert in der üblichen Weise. Es ist klar, daß zwei von demselben Patienten zu verschiedenen Zeiten derartig hergestellte Orthoröntgenogramme ohne weiteres zum Vergleich aufeinandergelegt werden können, vorausgesetzt, daß der Karton bei beiden Aufnahmen über den identischen Hautpunkten gelegen hat, was durch Einhalten der gleichen Entfernung des Jugulum vom oberen Röhrchen bei beiden Untersuchungen erreicht wird. Die beiden in Betracht kommenden Kartons werden so aufeinandergelegt, daß sich die Löcher decken.

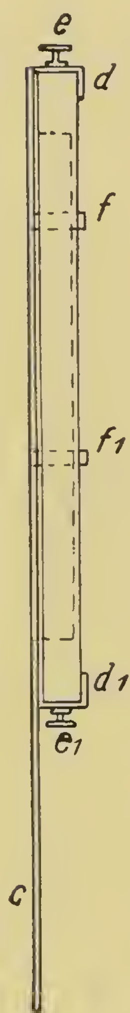


Fig. 217.

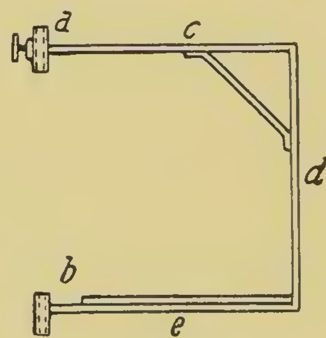


Fig. 218.

Man schlägt nun die Zeichnung des oberen mittels eines feinen Durchlochers durch. Die so auf dem unteren Karton entstehenden Löcher werden durch eine Linie miteinander verbunden. Der untere Karton enthält also das zuerst aufgenommene und das durch die Durchlochung übertragene zweite Orthoröntgenogramm.

Übertragung der Mamillen

Die Übertragung der Mamillen wird im fertiggestellten Orthoröntgenogramm mit dem Instrument (Fig. 218) vorgenommen. Die Röhren *a* und *b*, sind durch den Metallrahmen *c*, *d*, *e* senkrecht übereinander befestigt. Das Stück *e* besteht aus einem flachen

nicht biegsamen Blech. Die Übertragung findet in folgender Weise statt: Der Rahmen *c*, *d*, *e* wird, indem man das Blech *e* der unteren Fläche resp. den Rahmen des Zeichenbrettes horizontal und fest anlegt, so weit über das Zeichenbrett geschoben, bis das Röhrchen *b* auf der Mamille des Patienten steht. Ist dieses erreicht, so befindet sich das Röhrchen *a*, da es senkrecht über *b* steht, auch senkrecht über der Mamille. Mittels des pneumatischen Zeichenstiftes, welcher genau in das Röhrchen (*a*) hineinpaßt, wird nun ein Punkt auf den Karton gezeichnet, welcher im Orthoröntgenogramm die richtige Lage der Mamille angibt. Die Ausgestaltung des Stückes *e* als Fläche hat den Zweck, eine absolut horizontale Stellung desselben zu garantieren. Es ist selbstverständlich, daß man auf diese Weise auch jeden anderen beliebigen Punkt des Thorax, z. B. die Stelle des Spitzenstoßes usw. exakt auf das Orthoröntgenogramm übertragen kann.

Vertikalapparate

Die Vertikalapparate eignen sich alle ausgezeichnet zur orthoröntgenographischen Messung. Allerdings darf nicht verschwiegen werden, daß es mit großen Schwierigkeiten verbunden ist, den Kranken so aufzustellen, daß er dauernd mit der Brust dem Leuchtschirm parallel steht. Ist dieses nicht der Fall, dann werden die orthoröntgenographisch gefundenen Herzgrenzen Verzeichnungen erleiden, wodurch das ganze Verfahren hinfällig wird. An dem Levy-Dornschen Apparat sind auf meine Veranlassung zur besseren Fixierung des Kranken Pelotten angebracht, welche gegen die Schultern des Kranken drücken, und so eine Verdrehung desselben um seine Längsachse verhindern.

Das Bedürfnis nach orthoröntgenographischen Untersuchungen des Herzens wird, je nachdem es dem Arzt darum zu tun ist, mehr oder weniger genaue diagnostische Resultate zu haben, verschieden groß sein. Heute wird wohl in Krankenhäusern bei Herzkranken an jede Durchleuchtung eine Herzmessung angeschlossen werden.

Es möge schließlich auf die Wichtigkeit solcher exakter Größenbestimmungen für Lebensversicherungs- und Militärdiensttauglichkeitsfragen hingewiesen werden.

II. Die Orthophotographie.

Der Wunsch, die von der Subjektivität des Untersuchers abhängige Orthoröntgenographie durch eine mechanische, photographische Meßmethode zu ersetzen, hat zur Orthophotographie geführt.

Immelmann und sein technischer Assistent Lepper gaben folgendes Verfahren an:

An Stelle der gewöhnlichen Blende am Orthodiagraphen wird eine enge, nur 1 cm im Durchmesser große Bleiblende benutzt. Das Zeichenpapier, auf welches die Herzfigur bei der Orthoröntgenographie aufpunktiert wird, ersetzt man durch eine photographische Platte. Nunmehr wird nach Einschaltung der Röhre die Herzkontur in die Blende eingestellt und mit letzterer die ganze Kontur umfahren. Wenn möglich, wird die Atempause benutzt, was besonders für die Erzielung scharfer Herzzwerchfellwinkel von Wichtigkeit ist. Man erhält auf der Platte ein Bild, welches in seinen Größenverhältnissen durchaus richtig ist und demzufolge auch mit dem Kontroll-Orthoröntgenogramm übereinstimmt. Die Herz- und Zwerchfellränder sind annähernd scharfrandig, wenigstens genügt ihre Exaktheit, um Messungen an dem gewonnenen Bilde vornehmen zu können.

Orthophotographie. Methoden Immelmann-Lepper

Der Nachteil dieser Methode liegt darin, daß man sehr enge Blenden anwenden muß, und daher schwer die Herzkontur innerhalb des kleinen Lichtbezirkes mit genügender Deutlichkeit erkennen kann; eine weite Blende darf nicht genommen werden, da, wie Guttmann gezeigt hat, dadurch erhebliche Fehler hervorgerufen werden. Es sind von Rieder Vorschläge gemacht worden, die Unsicherheit der orthophotographischen Methode dadurch zu verbessern, daß man zunächst ein richtiges Orthoröntgenogramm nach der alten Methode aufzeichnet und dieses dann nach untergelegter Platte mit dem senkrechten Röntgenstrahl umfährt. Es läßt sich nicht leugnen, daß durch diese Modifikation die Sicherheit der orthophotographischen Aufnahme etwas gewinnt. Jedoch nicht in dem Grade, daß sich die Methode schon einen weiteren Anhängerkreis hätte erwerben können. Die geniale Idee, welche der Orthophotographie zugrunde liegt, rechtfertigt es jedenfalls, sie als vollgültige Methode in die Zahl der Röntgenmeßmethoden aufzunehmen.

Modifikation nach Rieder

III. Das Spaltblendenverfahren.

Spaltblendenverfahren nach Albers-Schönberg

Wenn es sich darum handelt, die an und für sich absolut exakte Orthoröntgenographie durch eine gewissermaßen mechanische und von der Subjektivität des Untersuchers losgelöste Methode zu ersetzen, so kann dieser Versuch nur dann eine Berechtigung haben, wenn die neue Methode nicht nur Annäherungswerte, sondern genau richtige Maße festzustellen gestattet. Die Frage, ob es einen Zweck hat, mit den in technischer Beziehung vollendet durchgebildeten Orthoröntgenographen in Wettbewerb zu treten, möchte ich bejahen. Auch für den Geübten halte ich die Orthoröntgenographie für

mühsam und zeitraubend, ganz abgesehen davon, daß die Subjektivität des Untersuchers durchaus nicht auszuschalten ist. Gewiß

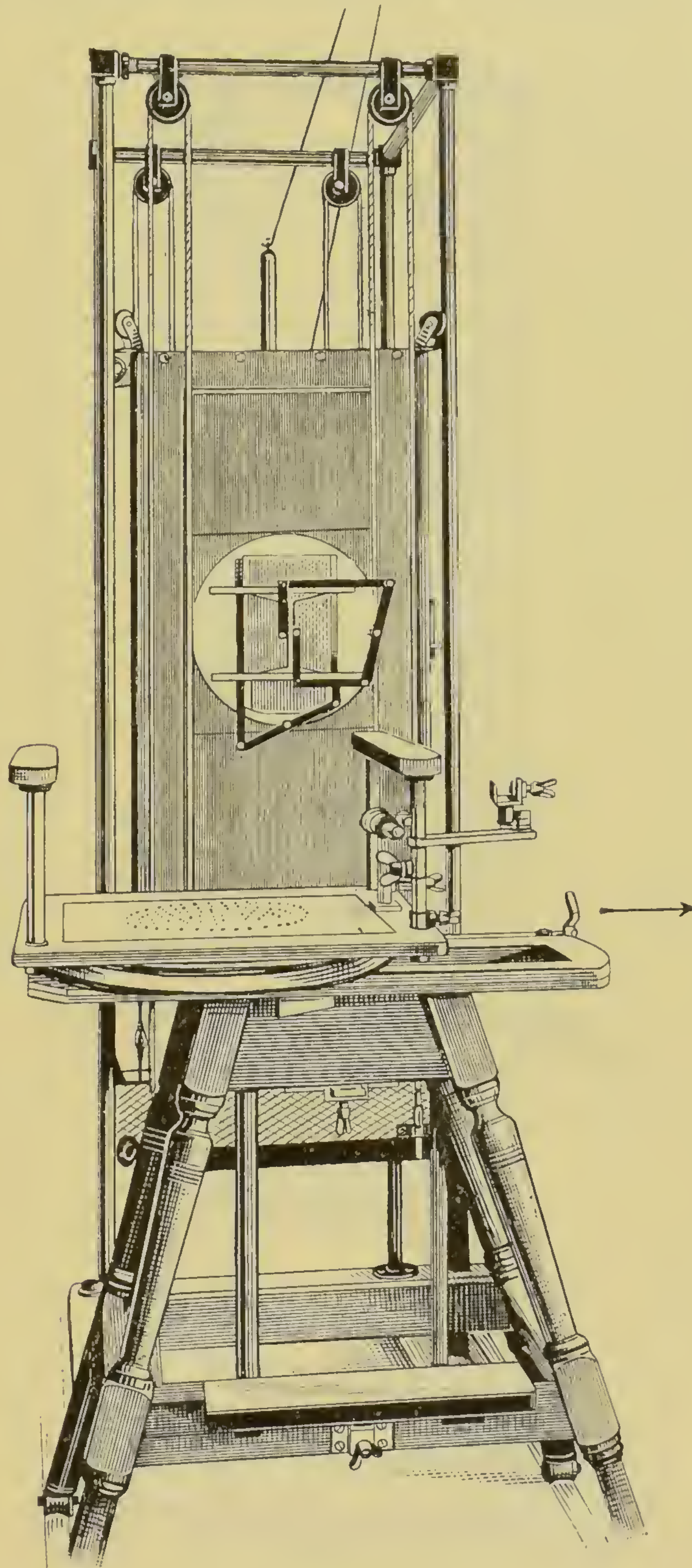


Fig. 219.

wird ein exakt verfahrender Untersucher von einem mageren Individuum ein richtiges Orthoröntgenogramm erzielen, sobald indessen der Patient korpulent ist, wird er den Zweifel, ob die Herzgrenzen

richtig markiert sind, nicht los. Es ist hier nicht der Ort, die Vorzüge und Nachteile der Orthoröntgenographie aufzuzählen, ich

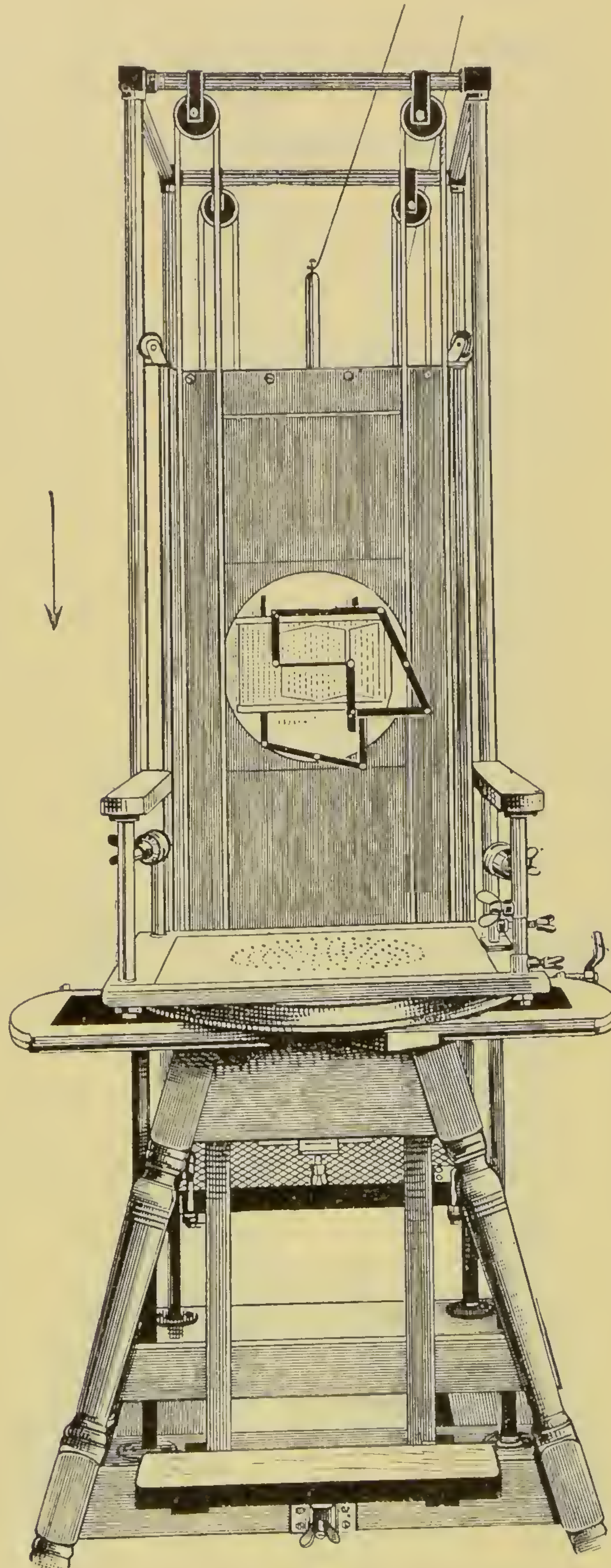


Fig. 220.

möchte indessen betonen, daß eine Methode, welche frei vom Einfluß des Untersuchers, dem Kliniker mechanisch festgestellte Größenmaße an die Hand gibt, von prinzipieller Bedeutung ist.

Aus diesem Grunde habe ich folgende neue Technik der orthophotographischen Herzaufnahmen eingeführt.

Fig. 219 zeigt eine Bleikistenblende, in welcher sich die Röntgenröhre befindet. Die Seite 239 beschriebene Schiebeblende ist so eingestellt, daß ein 5 mm breiter Längsspalt entsteht. Die Röntgenröhre befindet sich, wie aus der inneren Konstruktion der Bleikistenblende sich ergibt, und worauf hier nicht näher einzugehen ist, in einer solchen Stellung, daß ihr Fokus genau hinter der Mitte des Schlitzes steht. Vor der Bleikistenblende befindet sich der Untersuchungsstuhl, über dessen nähere Konstruktion Seite 249 nachzulesen ist. Dieser Stuhl trägt ein Sitzbrett, das sich nach rechts und links mittels einer Spindel leicht und schnell verschieben läßt. Der Patient wird auf den Stuhl gesetzt und vor seiner Brust eine mit Film und doppeltem Verstärkungsschirm armierte Kassette befestigt. Durch Drehung der Spindel am Stuhl kann der Patient in jedem beliebigen Tempo an dem Längsschlitz vorbeigezogen werden. Das Bild, welches auf diese Weise entsteht, gleicht äußerlich durchaus einem gewöhnlichen Übersichtsbild der Thoraxorgane, nur fällt sofort auf, daß die Herzfigur wesentlich kleiner ist. Vergleicht man die gewonnene Herzfigur mit dem Orthoröntgenogramm, so ist eine absolute Übereinstimmung der Größe zu konstatieren.

Es ist selbstverständlich nicht angängig, als Untersuchungsobjekt für den Beweis der Exaktheit einer Meßmethode das menschliche Herz zu wählen, da eine Nachprüfung meist ausgeschlossen ist. Ich habe infolgedessen die Probe in folgender Weise angestellt:

Auf dem verschiebbaren Sitz wurde eine viereckige Bleiplatte vertikal befestigt und 8 cm von derselben eine photographische Platte angebracht. Der Fokusobjektabstand betrug 57 cm, der Objektplattenabstand 8 cm. Nun wurde, nachdem die Röhre eingeschaltet, die Bleiplatte zusammen mit der photographischen Platte an dem Spalt vorübergezogen und dann die Platte entwickelt. Ich erhielt ein a b s o l u t exaktes Bild der Bleiplatte, welches in seiner Größe auch nicht um einen Millimeter von der wirklichen Größe differierte. Das Bild war ferner scharfrandig ausgefallen, so daß eine genaue Nachmessung möglich war. Es wurde jetzt ein zweiter Versuch angestellt, bei welchem der Objektplattenabstand von 8 auf 30 cm vergrößert wurde. Die Aufnahme zeigte wiederum ein gutes Bild der Bleiplatte, dieses Mal allerdings mit unscharfen Rändern. Die Aufnahme genügte indessen, um durch Nachmessung festzustellen, daß sich das Untersuchungsobjekt und das Bild in ihren Größenverhältnissen deckten. Hier muß bemerkt werden, daß selbstverständlich n u r d i e Q u e r m a ß e exakt sind, während die

Längsmaße der Bleiplatte wesentlich vergrößert sind. Es ergibt sich demnach, daß man mittels der geschilderten Methode des Vorüberziehens des Patienten an einer Schlitzblende sämtliche Querdurchmesser des Herzens genau bestimmen kann, so daß die gewonnenen Aufnahmen, soweit die Querdimensionen in Betracht kommen, als richtige anzusehen sind. Die Längsdurchmesser, also beispielsweise die Höhe der Aorta, sind auf diesen Orthophotogrammen genau so verzeichnet, d. h. vergrößert, wie auf den üblichen Übersichtsaufnahmen. Es ist die Frage, ob vom klinischen Standpunkt ein Bedürfnis für die exakte Höhenbestimmung vorliegt. Meines Erachtens wird man in den meisten Fällen für die Beurteilung eines Falles mit den Querdurchmessern des Herzens vollkommen auskommen. Handelt es sich indessen darum, auch die Höhenmaße mathematisch richtig festzustellen, so ist die Methode in der Weise, wie Fig. 220 zeigt, auszuführen. Statt eines Längsspaltes wird mittels der Schiebeblende ein Querspalt, vor welchen der Patient gesetzt wird, hergestellt. Der Fokus der Röhre ist wieder auf die Mitte dieses Querspaltes zentriert. Nun wird die Bleikistenblende emporgezogen, so daß sich der Querspalt in der Höhe des Hinterhauptes befindet. Nachdem die Röhre eingeschaltet ist, läßt man die Bleikistenblende mittels Kurbel langsam herunter. Es ergibt sich wiederum eine Übersichtsaufnahme, welche den gewöhnlichen Übersichtsaufnahmen in sämtlichen Querdimensionen gleicht, also ein quervergrößertes Herzbild zeigt, welches dagegen in seinen Höhendimensionen kleiner erscheint als die üblichen Bilder. Auch diese Aufnahme mit bewegter Röhre und Querspalt wurde an dem gleichen Bleistück mit dem Objektplattenabstande von 8 resp. 30 cm ausprobiert. Es ergab sich, wie nicht anders zu erwarten war, ein in den Längsmaßen exaktes Bild, welches in den Quermaßen zu groß war.

Die Schnelligkeit, mit welcher der Patient an dem Längsspalt resp. die Röhre an dem Patienten vorbei bewegt wird, richtet sich nach dem zur Verfügung stehenden Apparat und bewegt sich bei Benutzung der neuen Momentinstrumentarien innerhalb einiger Sekunden, so daß die ganze Prozedur in Atemstillstand in mittlerer Respirationsstellung ausgeführt werden kann.

Es ergibt sich also, daß durch Kombination dieser beiden Aufnahmen mittels Längs- und Querspalt eine absolut exakte mechanische Herzgrößenbestimmung gemacht werden kann. Die Technik ist die denkbar einfachste, und kann auch in anderer Weise als hier beschrieben ausgeführt werden. Voraussetzung für das Gelingen ist eine exakte Röhreneinstellung, sowie genau senkrechte, von seitlichen Verdrehungen freie Einstellung des Patienten. Diese

ist auf dem von mir beschriebenen Aufnahmestuhl zu erreichen. An ihm befindet sich eine, auf vorstehender Abbildung der Übersicht wegen fortgelassene Rückenlehne aus Segeltuch, gegen welche der Patient sich anlehnend, mit Fixiervorrichtungen festgehalten wird. Außerdem sind zwei Halter angebracht, die in beide Achselhöhlen geschoben werden, um ein Zusammensinken des Kranken, namentlich wenn es sich um schwache Personen handelt, zu verhüten. Nicht weniger wichtig ist die der Brustwand und damit der Rückenlehne und der vorderen Bleikistenwand parallele Fixierung der photographischen Platte, was durch den hierfür konstruierten, auf den Armen des Stuhles verschiebbaren eisernen Kassettenträger erreicht wird. Die Plattenkassette wird bei dieser Anordnung dazu benutzt, um gegen die Brust des Patienten einen leichten, die Ruhestellung des letzteren befördernden Druck, auszuüben.

Nach demselben Prinzip kann man auch orthophotographische Aufnahmen am liegenden Patienten vornehmen, und zwar können die im Gebrauch befindlichen Orthoröntgenographen leicht für diesen Zweck hergerichtet werden, besser noch eignet sich das Trochoskop hierzu.

Es ist klar, daß bei Benutzung eines durch zwei Schlitzblenden gehenden Strahlenbündels theoretisch immerhin noch eine minimale Verzeichnung stattfinden könnte. Diese ist indessen so gering, daß sie praktisch nicht in Betracht kommt, da sie mit der üblichen Meßmethode nicht nachgewiesen werden kann. Man ist also berechtigt, hier von einem parallelen Strahlenbündel, welches die obere Schlitzblende passiert, zu reden. Es ist bereits früher von Goeht und Pasche versucht worden, Schlitzblendenvorrichtungen zur Aufnahme von Extremitäten zu benutzen, jedoch ist der Erfolg ein negativer gewesen, was seinen Grund unter anderem darin hat, daß die Expositionszeit für eine Extremitätenaufnahme wesentlich länger sein muß als für Herzaufnahmen, bei welchen man Verstärkungsschirme benutzen kann, da es nur auf die Darstellung der Größenverhältnisse und nicht auf feine Strukturdetails, wie bei den Extremitäten, ankommt.

Zu orthodiagraphischen Aufzeichnungen direkt auf die Brusthaut verwende ich seit längerer Zeit das Spaltblendenverfahren. An fast jede Herzuntersuchung wird diese Messung sofort angeschlossen. Man verfährt hierbei folgendermaßen:

Nachdem das Übersichtsbild auf dem Leuchtschirm genau studiert ist, wird die Querblende auf 1 cm eingeengt und die Kiste so eingestellt, daß der auf dem Leuchtschirm erscheinende quere Lichtspalt sich in der Mitte der Ventrikel-, respekt. Vorhofkontur befindet; hierauf wird der Querspalt wieder vollständig geöffnet

und nun die Blende so weit längs eingeengt, daß auf dem Leuchtschirm ein etwa zwei Querfinger breiter Lichtstreifen erscheint. Mittels der, die seitliche Bewegung des Untersuchungsstuhls dirigierenden Kurbel, wird zunächst der Stuhl so weit nach rechts geschoben, daß die Herzspitze in der Mitte des schmalen Längsspalts erscheint. Mit einem Metallstabe geht man an die Herzspitze, respekt. an die linke Ventrikelkontur nahe heran, so daß der Metallstab parallel zur Körpermittellinie die Stelle der größten Konvexität des linken Ventrikels oder die Herzspitze als Tangente berührt. Die Einstellung ist sehr leicht auszuführen, da die Kontraste zwischen dem Herzmuskel und dem Metallstabe bedeutend sind. Während für einen Augenblick das Röntgenlicht ausgeschaltet und der Leuchtschirm zur Seite geschoben wird, zieht man entlang dem Metallstabe mit einem fein zugespitzten Dermographen eine Linie, oder falls man die Herzspitze markiert hat, bringt man an der betreffenden Stelle, auf welche der Metallstab hinweist, einen Punkt an. Bei wieder eingeschaltetem Röntgenlicht wird nun der Untersuchungsstuhl mit dem Patienten so weit nach links geschoben, daß die konvexe Kontur des rechten Vorhofes in der Mitte des Lichtspalts erscheint. Wieder wird der Metallstab parallel zur Mittellinie tangential an die Stelle der größten Exkavation des Vorhofes gebracht. Die Markierung mit dem Dermographen erfolgt in gleicher Weise wie beim linken Ventrikel beschrieben. Man kann auch den Scheitelpunkt des Zwerchfell-Vorhofwinkels in den Mittelpunkt des Lichtspalts bringen und mit dem Metallstab bezeichnen. Unter Umständen ist es schwer, die zu markierenden Punkte scharf zu Gesicht zu bekommen, man erleichtert sich in diesen Fällen das Verfahren, indem man den Blendenspalt während der Untersuchung erweitert und verengert, hierdurch werden die zarten Schattenunterschiede dem Auge deutlicher gemacht. Hat man die zu markierenden Punkte des Herzschattens richtig in die Mitte der Spaltblende eingestellt, dann kann die Markierung mit dem Metallstabe auch bei völlig geöffneter Blende stattfinden, da man sicher ist, daß die aufzuzeichnenden Punkte sich genau in der Richtung des senkrechten Röntgenstrahles befinden. Wünscht man auf eine der Brust parallele Zeichenebene zu projizieren, so tut man dieses am besten unter Zuhilfenahme eines durchlochten Leuchtschirmes und einer vom Untersuchungsstuhl unabhängigen Zeichenebene. — Die geschilderte Methode genügt für alle klinischen Bedürfnisse vollständig. Da sie schnell und leicht von jedem geübten Untersucher ausgeführt werden kann, ersetzt sie für den Besitzer der Bleikistenblende und des beschriebenen Untersuchungsstuhls den

Orthodiagraphen. Ich möchte annehmen, daß von den sämtlichen bekannten Herzmeßverfahren das soeben geschilderte das fehlerfreieste und am leichtesten ausführbare ist.

Bleikisten-Orthoröntgenograph.

Eine Modifikation des soeben geschilderten Spaltblendenverfahrens ist der neuerdings von mir konstruierte Bleikisten-Orthoröntgenograph. Aus dem aus Bleikiste und Stuhl bestehenden, bereits, oben ausführlich beschriebenen Durchleuchtungsinstrumentarium ist durch Anbringung eines rechtwinklig gebogenen mit Schreibvorrichtung versehenen Armes ein Orthoröntgenograph gemacht worden. Der Schreibstift *a* steht genau zentriert vor dem Mittelpunkt der an der Kiste befindlichen Schiebeblende und damit bei richtig zentrierter Röhre im Fokusstrahl.

Bleikisten-Orthoröntgenograph nach Albers-Schönberg

In dieser Stellung wird er durch einen bei *c* gelegenen Arretierungsmechanismus festgehalten. Der Arm *d*, welcher den Schreibstift *a* trägt, ist bei *e* in der Richtung der Pfeile nach vorn und hinten beweglich. Außerdem kann er auf dem horizontalen Armen *f* entsprechend der Dicke des zu untersuchenden Patienten ebenfalls in der Richtung der Pfeile verschoben werden.

Der Schreibstift ist als Doppelpunktograph ausgebildet, d. h. er hat zwei Punktiervorrichtungen x und x_1, die nach vorn und hinten gerichtet sind. Bei Nichtgebrauch dieser orthoröntgenographischen Vorrichtung wird der rechtwinklige Arm auf die Seite gedreht. Die Untersuchung gestaltet sich nun folgendermaßen. Patient wird auf dem Untersuchsstuhl korrekt hingesetzt und der Leuchtschirm wie in Fig. 121 abgebildet vor der Brustwand fixiert. Bei völlig geöffneter Blende der Bleikiste erfolgt die Untersuchung des Thorax in bekannter Weise. Ergibt sich die Notwendigkeit einer exakten Herzgrößebestimmung, so wird einfach der rechtwinklige Arm um 90° gedreht, in welcher Stellung automatisch bei *e* die Fixierung einschnappt. Der Zeichenstift, welcher sich jetzt zwischen Brustwand und Durchleuchtungsschirm befindet, erscheint auf letzterem deutlich abgehoben als dunkler Punkt und markiert gleichzeitig den Fokusstrahl. Durch Heben oder Senken der Kiste an der Kurbel *g* seitens der assistierenden Schwester und durch seitliche Verschiebung des Stuhles mittels der Kurbel *h* läßt sich z. B. die Herzspitze oder die Stelle der größten Exkavation des rechten Vorhofs mit dem Schreibstiftpunkt auf dem Leuchtschirm zur Deckung bringen. Ein Druck auf die Stange *d* genügt, um mittels x auf der Thoraxhaut einen Farbpunkt anzubringen. Überzieht man die Rückseite des Leuchtschirms mit Papier, so kann

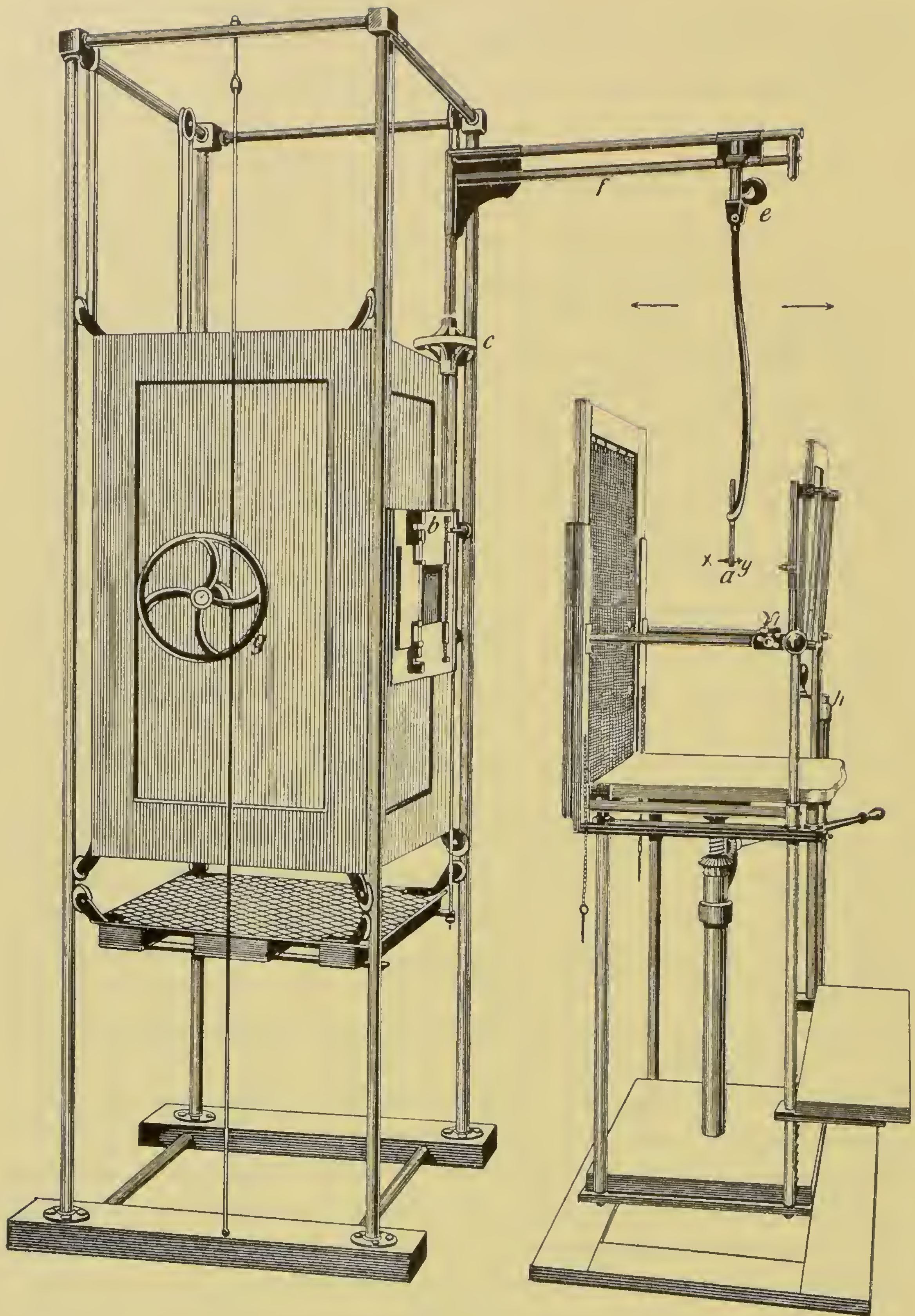


Fig. 221.

man durch Zug an Stange *d* mittels x_1 einen entsprechenden Punkt auf dem Papier anbringen. Man erhält also durch Druck und Zug eine orthoröntgenographische Aufzeichnung sowohl auf der Brusthaut als auch auf einer vom Körper unabhängigen parallelen Ebene, und zwar ohne wie sonst erforderlich, die doppelte Arbeit aufwenden zu müssen.

Nach beendeter Messung wird die Arretierung bei *c* gelöst und der Arm wieder um 90^0 auf die Seite gedreht. Für Lokalisationszwecke, z. B. von Lungenherden, eignet sich dieses Verfahren vorzüglich.

Der Einwand, daß die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung von x und x_1 nicht genau horizontal, sondern in einer Bogenlinie erfolgt, ist theoretisch richtig, kommt aber praktisch deswegen nicht in Betracht, weil die zurückgelegte Strecke nur eine sehr kleine ist.

IV. Die Teleröntgenographie.

(Distanz-Aufnahme.)

Teleröntgenographie

Distanzaufnahme

Die Distanz-Aufnahme oder Fernaufnahme ist schon vor Jahren von verschiedenen Autoren: Rosenfeld, Gocht und Cowl empfohlen worden, da sie sich darüber klar waren, daß mit Zunahme der Entfernung des Fokusabstandes von der photographischen Platte auch die Vergrößerung, welche durch die Zentralprojektion bedingt ist, sich vermindere. Zu einer praktischen, brauchbaren Anwendung ist es indessen nicht gekommen, weil die damaligen Instrumentarien eine Durchstrahlung auf beispielsweise 2 m nicht gestatteten. Neuerdings hat sich Köhler das Verdienst erworben in Wort und Schrift für die Distanzaufnahme, welcher Grashey den Namen „Teleröntgenographie“ beilegte, eingetreten zu sein. Und mit Recht gebührt Köhler die Priorität für dieses Verfahren, da er als Erster sich systematisch mit ihm befaßt hat. Diese Priorität kann ihm nicht abgestritten werden, wenn auch vielleicht hier und da ein Röntgenologe gelegentlich den mehr oder weniger geglückten Versuch gemacht hat, auf große Distanz Aufnahmen herzustellen.

Ebenso wenig, wie die orthophotographische Methode hat sich bis jetzt die Teleröntgenographie einer größeren Beliebtheit zu erfreuen gehabt. Es liegt dieses daran, daß die Expositionszeiten zu lang sein mußten und hierbei eine Ruhigstellung des Patienten nur mit Schwierigkeiten garantiert werden konnte. Neuerdings ist die Sache in ein anderes Fahrwasser gekommen, da mit Einführung der Intensivstrominduktoren, sowie gleiche Zwecke verfolgender anderer Apparate, die Expositionszeiten so erheblich verringert werden, daß eine Teleröntgenographie in wenig Sekunden herzustellen ist. Ganz besonders hat Groedel das Verdienst mit großen Stromstärken die teleröntgenographischen Aufnahmen bei 220 cm Abstand auf zwei, ja sogar auf eine Sekunde abgekürzt zu haben. Die Zeit wird lehren, ob die Abkürzung der Expositionsdauer dem teleröntgenographischen Herzmeßverfahren Anhänger gewinnen kann.

Eine der größten Schwierigkeiten ist jedenfalls die richtige Einstellung des Patienten. Geringe Verdrehungen oder Verschiebungen können zu sehr erheblichen Fehlern führen und dadurch die ganze Methode in Mißkredit bringen.

Horizontal-Fernaufnahmen. Methode Albers-Schönberg

Ich habe anfangs in ähnlicher Weise, wie Köhler und Groedel ohne besondere Einstellvorrichtungen Fernaufnahmen gemacht, konnte mich aber bald davon überzeugen, daß die exakte Einstellung außerordentlich schwer war. Aus diesem Grunde ging ich dazu über, zunächst Lagerungsbedingungen für Horizontal-Fernaufnahmen so herzustellen, daß eine korrekte Einstellung garantiert war. Sodann habe ich die im Nachfolgenden beschriebenen Vorkehrungen getroffen, die für Vertikal-Fernaufnahmen die gleichen Zwecke erfüllen.

Es ist als feststehend zu betrachten, daß bei einer Fokusdistanz von 2—2$^1/_2$ Metern eine für klinische Zwecke in Betracht kommende Vergrößerung des darzustellenden Objektes — in diesem Falle des Herzens — ihrer Geringfügigkeit wegen, nicht mehr zu berücksichtigen ist.

Ich empfehle nun bei geeigneten Lokalitäten folgendermaßen zu verfahren: Zimmer *a* stellt das Röntgenlaboratorium dar. Das über Zimmer *a* liegende Zimmer *b* wird nur für die Aufstellung eines der üblichen, mit Segeltuch bespannten Untersuchungstische gebraucht. Durch den Fußboden des Zimmers *b* ist ein 2—2$^1/_2$ Meter langes eisernes Rohr von 25—30 cm Durchmesser in das Zimmer *a* geführt. Am unteren Ende trägt dieses Rohr eine Klammervorrichtung (*c*) zur Anbringung der Röntgenröhre. Die obere Öffnung des Eisenrohres berührt mit ihrem ganzen Umfange die Unterseite des Segeltuches, auf welchem der Patient so gelagert wird, daß der 6. Brustwirbel in der Mitte der oberen Rohrapertur liegt. Durch die Rückenlage des Kranken, sowie durch die senkrechte Stellung des Eisenrohres ist die exakte senkrechte Einstellung des Röhrenfokus unter dem 6. Brustwirbel ohne weiteres gewährleistet. Der Untersucher befindet sich in dem verdunkelten Zimmer *b*, welches durch ein Sprachrohr oder dergleichen mit dem Röntgenlaboratorium in Verbindung steht und gibt seinem Assistenten, dessen Tätigkeit in der Bedienung der Röhre besteht, das Zeichen zum Einschalten.

Man sieht mit gut adaptierten Augen ein kreisförmiges Thoraxbild, in dessen Mitte das Herz liegt, in vollkommener Deutlichkeit und kann nun je nach Wunsch die Konturen auf dem Leuchtschirm durchpausen, oder mit Benutzung eines durchlochten Leuchtschirms dem Patienten auf die Brusthaut punktieren, oder schließlich durch Auflegen einer geeignet fixierten Platte röntgeno-

graphieren. Die Vergrößerung, welche der Herzschatten auf den Bildern erfährt, ist so minimal, daß er vom klinischen Standpunkt aus vernachlässigt werden kann, um so mehr als diese kleine Ungenauigkeit bei allen Aufnahmen die gleiche, und somit ohne weiteres in Berechnung zu ziehende ist. Zur Herstellung der röntgenographischen Aufnahmen brauche ich Schleußner Platten

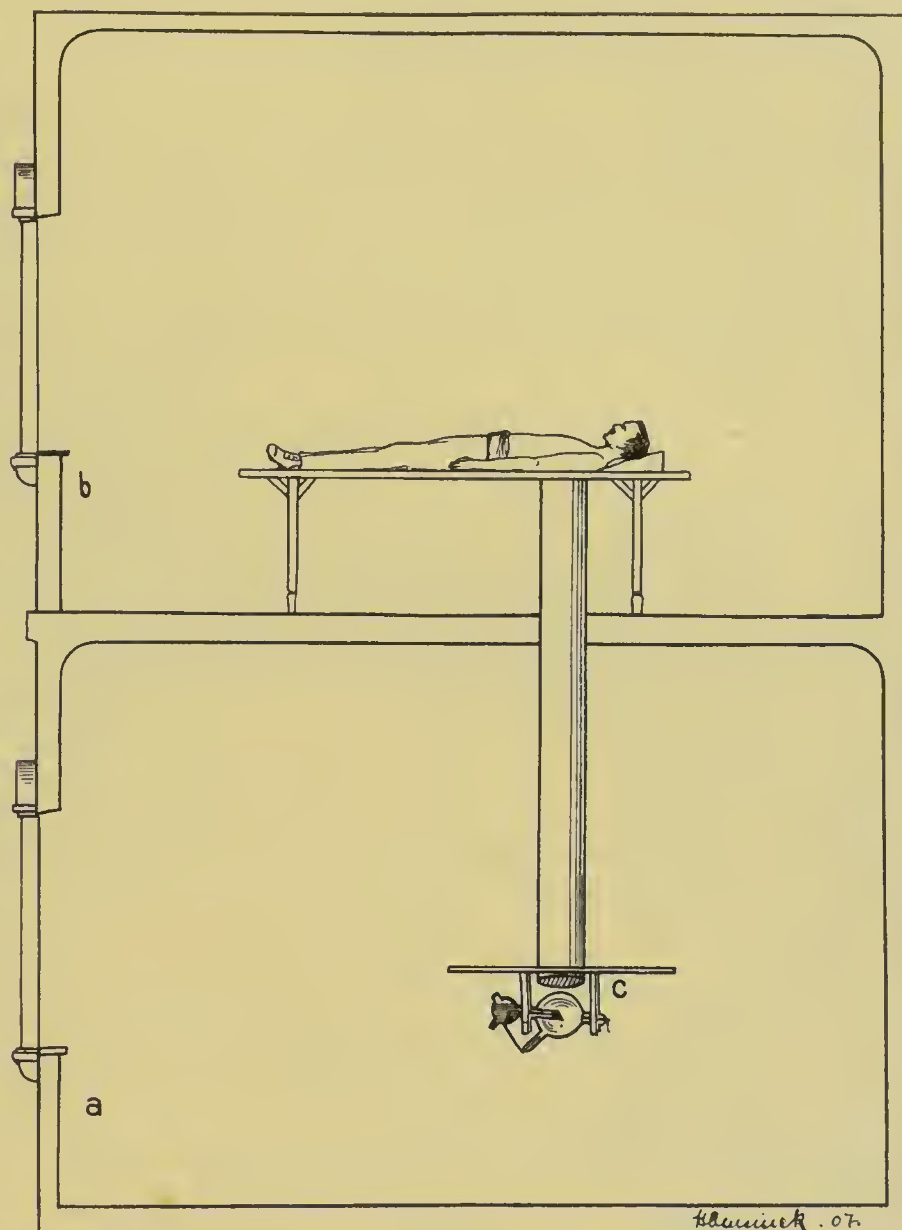


Fig. 222.

ohne Verstärkungsschirm und exponiere 2—3 Minuten, K. E. einige Sekunden. Die Entwickelung muß mit einem möglichst schnell arbeitenden Entwickeler geschehen, um Schleierbildung zu vermeiden. Bei diesen Distanzaufnahmen ist es ganz gleichgültig, ob der Patient atmet oder nicht, da die Zwerchfellexkursionen, sowie Verschiebungen der Lungen die Güte des Bildes wenig oder gar nicht beeinträchtigen. Gerade die Lungenbilder fallen besonders

gut aus. Ich halte diese einfache und billige Methode zur Herzgrößenbestimmung für völlig ausreichend und glaube, daß sie sich auch für Lungenuntersuchungen gut einführen wird. Mittels solcher Distanz- oder Teleaufnahmen kann man sowohl bei liegendem wie sitzendem Patienten sehr schöne Aufnahmen der Brustwirbelsäule sowie des Thoraxinhaltes mit frontalem Strahlengang erzielen. Bei den Versuchen ist die Expositionszeit je nach dem Körperdurchmesser entsprechend lang zu nehmen.

Vertikal-Fernaufnahmen. Methode Albers-Schönberg

Da die Anwendung der Distanzaufnahme bei liegendem Patienten an lokale Verhältnisse, die nicht in jedem Institut zur Verfügung stehen, gebunden ist, so habe ich mich seit einigen Jahren bemüht, auch für Vertikaluntersuchungen einen einfachen und leicht zu bedienenden Apparat zu konstruieren. Nachdem ich über die ersten Versuche auf dem *zweiten Kongreß der Deutschen Röntgen-Gesellschaft 1906* berichtet habe, ist die Arbeit nunmehr zum Abschluß gebracht worden.

Der Apparat setzt sich folgendermaßen zusammen: Die Röhre befindet sich in der von mir an anderer Stelle beschriebenen Durchleuchtungskiste (1), welche mit einer Einstellungsvorrichtung im Innern versehen ist und eine auf beliebige Weite einstellbare Blende (2) trägt. Zwischen der Bleikistenblende und dem Untersuchungsstuhl ist eine aus Eisenblech gearbeitete, 2 m 50 cm lange, abgestumpfte, hohle Pyramide (3), deren obere, vor der Schiebeblende befindliche Öffnung eine Weite von 10 cm im Quadrat hat, eingeschaltet[1]). Die untere Apertur, welche an den, die Rückenlehne (*k*) tragenden Seitenschienen (*m*) des Untersuchungsstuhles angehakt ist, hat eine Weite von 30×40 cm. In dieser unteren Apertur der Pyramidenblende befindet sich ein zu Einstellungszwecken dienendes Drahtkreuz. Die Lehne des Untersuchungsstuhles steht genau parallel zur vorderen Wand der Bleikiste, ebenso steht die Plattenkassette (*h*) parallel zur Stuhllehne und zur Bleikistenwand. In die Plattenkassette ist an der dem Patienten zugewandten Seite ebenfalls ein Drahtkreuz eingelassen. Der Fokus der Röhre steht genau über dem Kreuzungspunkt der beiden Drahtkreuze, das heißt der senkrechte Röntgenstrahl geht vom Brennpunkt der Röhre durch die Längsachse der Pyramidenblende und durch die beiden Kreuzungspunkte der Drahtkreuze. Die richtige Höheneinstellung der Röhre läßt sich durch die Kurbel (6), welche an der Seite der Bleikistenblende angebracht ist, in sehr feinen Grenzen regulieren. Die Parallelstellung von Stuhllehne

[1]) An Stelle der Pyramidenblende wurde anfangs ein Zylinder von entsprechenden Dimensionen benutzt.

und Kassette wird durch einen weiter unten zu beschreibenden Mechanismus gewährleistet. Ebenso kann die seitliche Verschiebung des Untersuchungsstuhles durch eine Kurbel verändert werden. Die Plattenkassette wird durch einen auf den Stuhllehnen gleitenden Kassettenträger (*s*), je nach der Stärke des Patienten, stets parallel zur Stuhllehne, vorwärts oder rückwärts verschoben. Bei manchen Personen, z. B. Leuten mit prominentem Abdomen oder bei korpulenten Frauen liegt die Platte der Brustwand nicht unmittelbar an. Der so zwischen Platte und Thorax entstehende Zwischenraum, auf dessen Bedeutung ich weiter unten zurückkommen werde, ist für die Richtigkeit der Aufnahme irrelevant. Um den Patienten genau vor die Mitte der Stuhllehne setzen zu können, ferner, um eine Drehung um die Längsachse des Patienten zu verhindern, sind an den Stuhllehnen zwei Thoraxhalter (*r*) angebracht. Letztere werden an die Seitenpartien des Brustkorbes gesetzt und unter Benutzung einer Skala, welche auf der Figur deutlich sichtbar ist, gleichmäßig angedrückt. Da der zu untersuchende Kranke mit seinem sechsten Brustwirbel in der Höhe der Kreuzungspunkte der oben erwähnten Drähte sitzen muß, so ist eventuell eine Höher- oder Niedrigerstellung des Sitzes (*i*) erforderlich. Letztere kann ohne

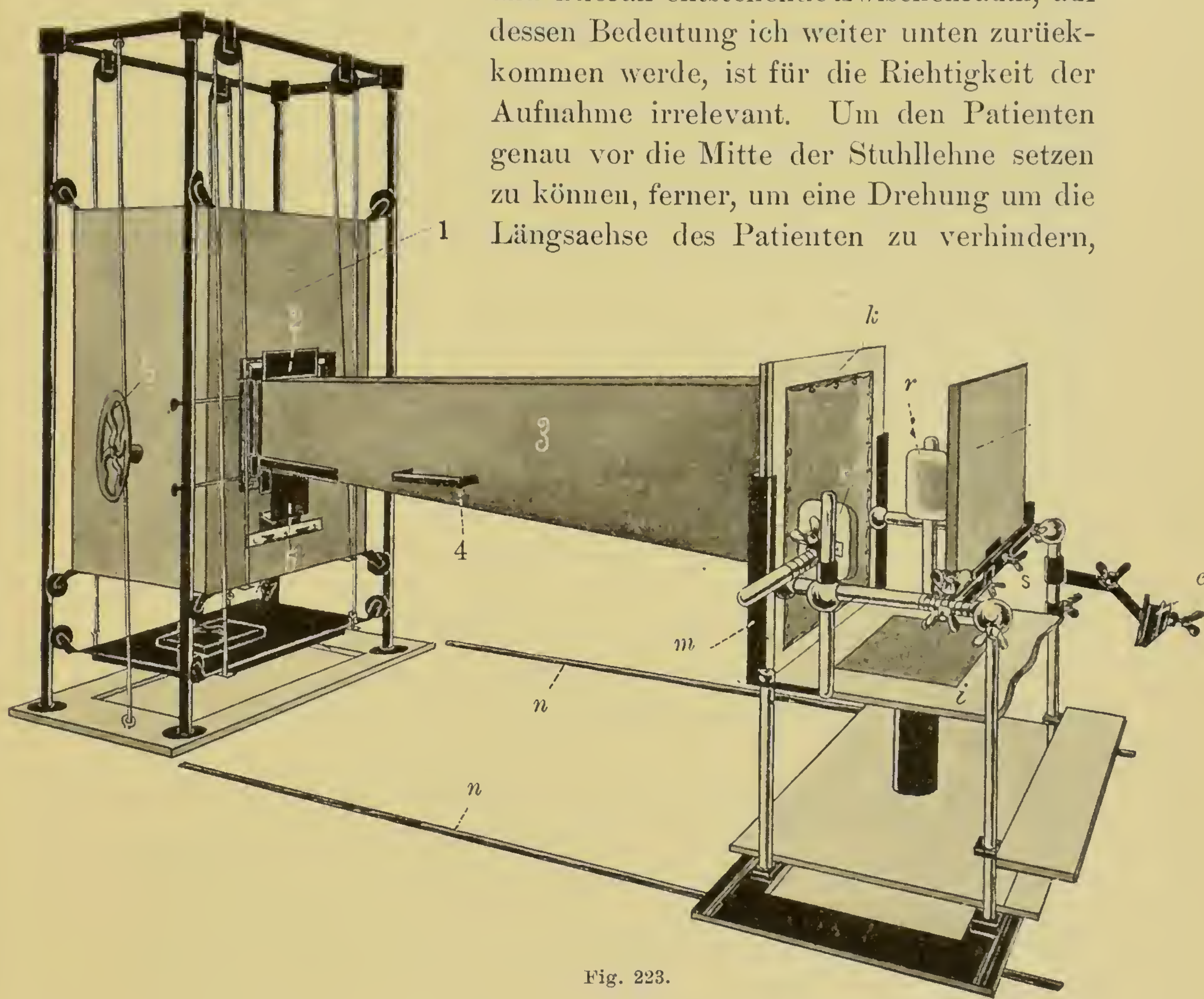


Fig. 223.

Schwierigkeiten, vermittelst der Kurbel vorgenommen werden. Die Verwendung einer Pyramidenblende, hat den Zweck, die Bilder kontrastreicher zu machen und andererseits einen Schutz gegen Röntgenstrahlen im Untersuchungsraum zu gewähren. Für die Messung als solche ist sie nicht erforderlich, da man auch ohne dieselbe, wenn auch weniger scharf, das Herz, sowohl auf dem Leuchtschirm zu sehen, wie auf der Platte abzubilden, imstande ist.

Um richtige Resultate zu erzielen, muß die Röhre genau zentriert sein, d. h. die Lichtachse resp. der senkrechte Röntgenstrahl muß, durch die Mitte der Pyramidenblende verlaufend, genau senkrecht auf der Rückenlehne des Untersuchungsstuhles und auf der Mitte der vor der Brust des Patienten befindlichen photographischen Platte stehen. Diese Einstellung wird zunächst in grober Weise folgendermaßen vorgenommen. Der drehbare Sessel des Untersuchungsstuhles wird mittels einer Fixiervorrichtung so festgestellt, daß seine Lehne parallel zur Vorderwand der Bleikistenblende steht. Nun wird der Stuhl auf seinen Schienen (*n*) auf 2 m 50 cm Distanz abgerollt und die Pyramidenblende an Bleikistenblende und Stuhllehne eingehängt. Ist dieses geschehen, dann wird die Schiebeblende an der Bleikiste soweit eingeengt, daß man auf dem im Plattenhalter an Stelle der Kassette befindlichen Leuchtschirm ein helles Quadrat von etwa 3—4 cm Seitenlänge sieht. In der Mitte des Quadrates muß das im unteren Ende der Pyramidenblende befindliche Drahtkreuz stehen. Fehler in der Höhenrichtung, resp. in der Horizontallagerung der Pyramidenblende werden durch Heben oder Senken der Bleikistenblende, Fehler in der Seitenrichtung durch Verschieben des Stuhles mittels der Kurbel korrigiert. Stimmt die Höhenrichtung, d. h. ist die Horizontallage erreicht, was man auch durch Wasserwage (4) kontrollieren kann, so wird mittels Farbe eine Markierung an der Kiste angebracht, so daß man in Zukunft auf die Leuchtschirmkontrolle ganz verzichten kann, da man nur die Kiste auf die Markierung einzustellen braucht. Selbstverständlich muß die Röntgenröhre im Inneren der Bleikiste zentriert sein. Ein etwaiger Fehler würde sofort bei dem eben beschriebenen Leuchtschirmversuch zutage treten. Die exakte Röhreneinstellung im Inneren der Kiste wird mittels einer einfachen Vorrichtung schnell und sicher erzielt. Ist die Röhre einmal zentriert, so bleibt sie dauernd in ihrer richtigen Stellung und bedarf einer weiteren Kontrolle nicht.

Zur feinen Einstellung wird jetzt in den parallel zur Stuhllehne gerichteten Plattenhalter die leere Kassette eingeschoben. Wie wir aus der oben gegebenen Beschreibung wissen, trägt die Pyramidenblende in ihrem der Stuhllehne zugekehrten Teil, ebenso wie

die Kassette auf ihrem Pappdeckel ein Drahtkreuz. Hält man vor die Kassette einen Leuchtschirm und schaltet ein, so müssen sich bei richtiger Einstellung das Pyramidenkreuz und das Plattenkreuz genau decken. Etwaige Abweichungen der senkrechten Drähte korrigiert man durch Seitenverschiebung des Stuhles mit der hierzu dienenden Kurbel. Abweichungen der horizontalen Drähte durch Höherstellen der Kassette mittels der beiden hierfür vorgesehenen Stellschrauben am Plattenhalter. Decken sich die Kreuze, was in wenig Minuten erreicht ist, vollständig, so wird die Stellung des Stuhles mit Farbe dauerhaft markiert, ferner die Stellschrauben des Plattenhalters durch Schraubenmuttern fixiert.

Die Aufnahmen.

Für die Distanzaufnahmen braucht man eine tadellose, starke Belastung vertragende Durchleuchtungsröhre. Die große Entfernung der Lichtquelle bedingt eine gewisse Härte, jedoch darf man hierin nicht zu weit gehen, da sonst verschleierte Platten resultieren. Lieber exponiere man mit einer weicheren Röhre längere Zeit. Das fertige Negativ soll den rechten und linken Herzzwerchfellwinkel zeigen, da diese Punkte für die Messung später gebraucht werden. Ferner müssen die Konturen vom Herzen und den großen Gefäßen die Hilusschatten und Teile der umgebenden Lungen deutlich zu differenzieren sein. Selbst auf hochgradig unterexponierten Bildern sind diese Schatten besser zu erkennen als auf Platten, welche durch zu harte Strahlen verschleiert sind. Sehr wichtig für die Güte des Bildes ist die Einengung der Schiebeblende an der Bleikiste. Bei dem vorbeschriebenen Apparat reicht eine Blendenweite von einem Quadratzentimeter gerade aus um Herz, große Gefäße und einen Teil beider Lungen auf die Platte zu bekommen. Man wird je nach der Qualität der Röhre und Dicke des Patienten die Expositionszeit bemessen. Drei bis vier Minuten werden wohl stets ausreichen. Die Atmung, sowie die Eigenbewegungen des Herzens beeinträchtigen, da die Winkelbewegung eine sehr kleine ist, die Güte des Bildes wenig oder gar nicht. Ist man in der Anwendung von Verstärkungsschirmen geübt, so kann man diese, namentlich die Gehlersche Folie, benutzen und hierdurch die Expositionszeit abkürzen. Die Entwickelung geschieht nach bekannten Grundsätzen. Verstärkung ist eventuell bei schwach gedeckten Platten von Nutzen. Es braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden, daß man an Stelle des Plattenverfahrens unter Benutzung eines Leuchtschirms mit Glas oder Celluloidfolie auch direkte Skizzen machen, oder mit Hilfe eines durchlochten Leuchtschirms dem Patienten die Herzfigur auf die Brusthaut punktieren kann.

Die Beurteilung der Größenverhältnisse am fertigen Bilde.

Daß der große Röhrenabstand die durch die Zentralprojektion bedingte Vergrößerung nicht völlig aufhebt, liegt auf der Hand. Die folgende Betrachtung soll indessen beweisen, daß der Fehler sehr gering ist und leicht durch Rechnung korrigiert werden kann, so daß wir nahezu absolut richtige Größenverhältnisse erzielen.

Beweis für die Richtigkeit der Methode.

Zunächst ist es erforderlich zu wissen, wo im menschlichen Körper die der vorderen Thoraxwand parallele Ebene liegt, in welcher der größte Gesamtdurchmesser (Sektionsdurchmesser) des Herzens gelegen ist. Zur Bestimmung dieser Ebene wurden an Leichen Messungen vorgenommen, die ein ziemlich übereinstimmendes, in folgender Tabelle niedergelegtes Resultat ergeben haben.

Tabelle.

HA = Größter Querschnitt des Herzens in einer der Thoraxwand parallelen Ebene.
Th = Querdurchmesser des Thorax mittels Tasterzirkels in der Höhe des 6. Brustwirbels gemessen.

4jähriges Kind	$\frac{HA}{Th} = \frac{3,5}{12,5}\text{ cm} = \frac{1}{3,5}$	durchschnittlich 1/3.
44jähriger Mann	$\frac{HA}{Th} = \frac{7,5}{20,5}\text{ cm} = \frac{1}{2,8}$	
50jähriger Mann	$\frac{HA}{Th} = \frac{8}{23,5}\text{ cm} = \frac{1}{2,9}$	
57jähriger Mann	$\frac{HA}{Th} = \frac{6}{19,5}\text{ cm} = \frac{1}{3,2}$	

Die gesuchte Ebene *HA*, in welcher der Gesamtdurchmesser des Herzens (*GD*), sowie ein zur Berechnung von *GD* erforderlicher beliebiger Herzdurchmesser (x) liegen, befindet sich ziemlich genau auf der Grenze vom 1. zum 2. Drittel des Thoraxdurchmessers von der Brustwand aus gemessen.

Nunmehr kann aus Fig. 224 die Größe von x und damit auch die des Gesamtdurchmessers *GD* bestimmt werden.

ABC = Pyramidenblende. Länge derselben 225 cm Röhrenfokus bei *A*.
Pa = Plattenabstand (Stuhllehne bis Platte).
Th = Thoraxdurchmesser wird mittels Tasterzirkel in der Höhe des 6. Brustwirbels gemessen.
x = Gesuchter für die Berechnung des Gesamtdurchmessers, sowie der Medianabstände erforderlicher Herzdurchmesser.

y_1 = Bild von x auf der Platte (kann auf der Platte direkt abgemessen werden) für den Fall I., daß die Platte dem Thorax fest anliegen kann, also $Pa = Th$ ist.

y = Bild von x auf der Platte (kann auf der Platte direkt abgemessen werden) für den Fall II., daß die Platte von der vorderen Thoraxwand absteht, also $Pa = Th + D$ ist.

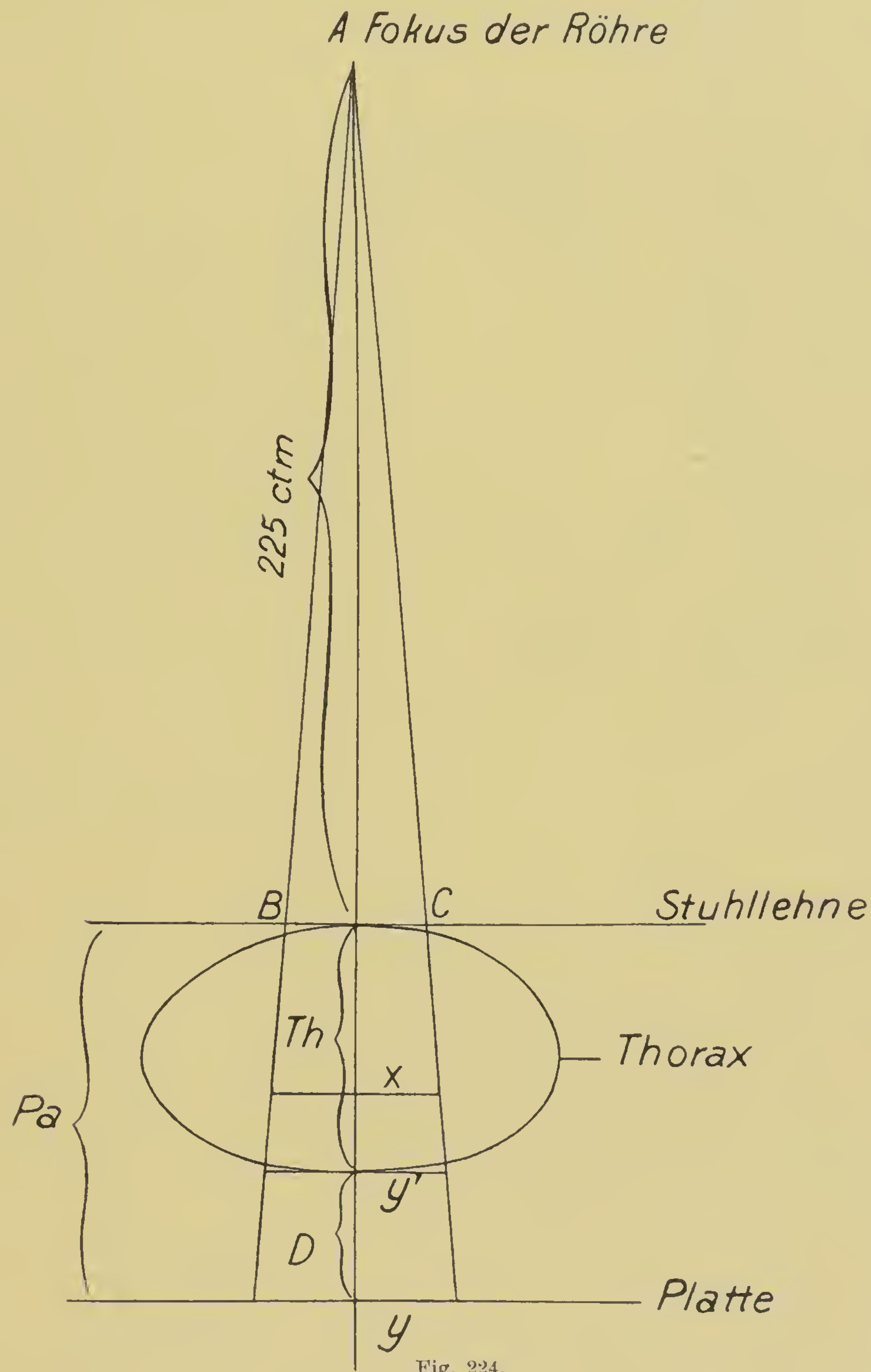


Fig. 224.

I. Fall.

$$\frac{x}{y_1} = \frac{225 + \frac{2}{3}\,Th}{225 + Th.}$$

II. Fall.

$$\frac{x}{y} = \frac{225 + \frac{2}{3}\,(Pa - D)}{225 + Pa.}$$

Beispiel für den I. Fall.

$Th = 21{,}5$

$y_1 = 11{,}5$

$$x = \frac{225 + 14{,}34}{225 + 21{,}5} \cdot 11{,}5$$

$$x = \frac{239{,}34}{246{,}5} \cdot 11{,}5$$

$$x = \frac{239{,}34}{49{,}3} \cdot 2{,}3$$

$x = 11{,}17.$

Beispiel für den II. Fall.

$Pa = 30$

$D = 10$

$y = 15$

$$\frac{x}{15} = \frac{225 + \frac{2}{3} \cdot 20}{225 + 30}$$

$$x = \frac{238{,}3 \cdot 3}{51}$$

$x = 14{,}01.$

Fig. 225 stellt das Röntgenogramm dar. Durch den Herzschatten hindurch sieht man den Schatten des auf dem Kassettendeckel befindlichen Metallkreuzes. Auf dem Querschenkel des letzteren wird die Stelle der größten Exkavation rechts (r. Vorhof) und links (Herzspitze) projiziert $= AB = y_1$ resp. y, y ist also gleich $GC + FD$, also = Medianabstand r + Medianabstand l. Seine Länge läßt sich auf der Platte ohne weiteres ablesen.

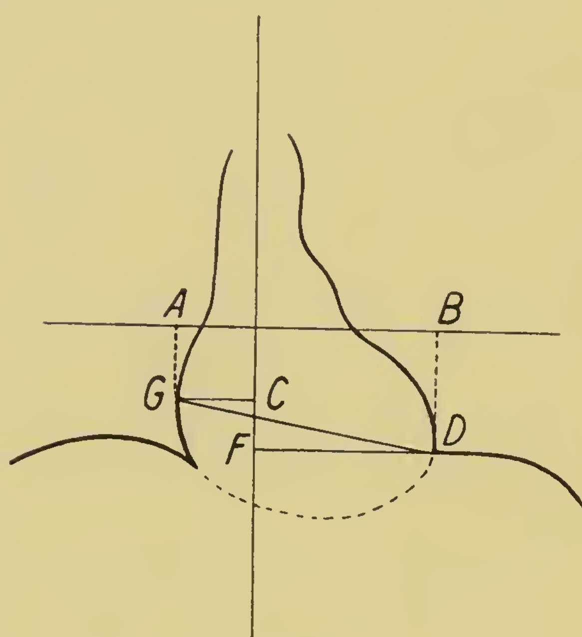


Fig. 225.

Die wirkliche Größe des Gesamtdurchmessers GD ergibt sich aus folgender Proportion.

$$\frac{GD}{x} = \frac{G_1D_1}{y_1 \text{ resp. } y.}$$

GD = wirklicher Gesamtdurchmesser

x = wirklicher Herzdurchmesser bereits bestimmt

G_1D_1 = Gesamtdurchmesser auf der Platte gemessen

y_1 oder y = Herzdurchmesser auf der Platte gemessen.

Für die oben gebrachten Beispiele Fall I und Fall II ergeben sich für GD folgende Werte.

Fall I.

$$\frac{GD}{11{,}17} = \frac{12}{11{,}5}$$

$GD = 11{,}6.$

Fall II.

$$\frac{GD}{14{,}01} = \frac{16}{15}$$

$GD = 14{,}96.$

Betrachten wir in den beiden Beispielen das Verhältnis des Wertes von y_1 resp. y zu den für den Gesamt- oder Sektionsdurchmesser gefundenen Werten

$$\frac{y_1}{GD} = \frac{11{,}5}{11{,}6} \quad \text{oder} \quad \frac{y}{GD} = \frac{15}{14{,}94}$$

so ergibt sich, daß wir, ohne einen nennenswerten Fehler zu machen, die auf der Platte gemessene Größe von $AB = y_1$ resp. y für den wahren Gesamtdurchmesser GD setzen können. Es erübrigt sich also hiermit im Einzelfall die Durchführung vorstehender Rechnung. Die Untersuchung ist demnach mit Fertigstellung der Platte und Ausmessung von AB beendet.

28. Kapitel.

Die Untersuchung des Magens und Darmes.

Die Röntgen-Untersuchungen des Magens und Darms werden dadurch ermöglicht, daß man durch Einführung von Metallsalzen in die genannten Organe künstliche Dichtigkeits-Differenzen schafft. An und für sich läßt sich weder vom Magen, noch vom Darm, es sei denn, daß er durch Luft gebläht ist, auf dem Leuchtschirm oder der photographischen Platte irgend etwas zur Darstellung bringen, da das Absorbtionsvermögen aller Baucheingeweide das Gleiche ist und somit keine Kontraste vorhanden sind. Wenn auch die Ordination von größeren Dosen Wismut in der Therapie seit langem bekannt war, so ist es doch das unbestreitbare Verdienst von Rieder, zuerst durch systematische Einführung großer Wismutmengen die relative Unschädlichkeit derselben für den menschlichen Organismus nachgewiesen zu haben. Rieder hat eine Methode geschaffen, welche es ermöglicht, den Verdauungstrakt mit Röntgenstrahlen zu untersuchen. Dieses Verdienst kann ihm nicht abgesprochen werden unbeschadet der Tatsache, daß vor ihm Wismuteinläufe zur Darstellung des Darmes auf dem Leuchtschirm, sowie Wismutlösungen, zum Nachweis von Speiseröhren-Divertikeln in Anwendung gebracht wurden. Nachdem die Methode begründet worden war, hat sich die medizinische Wissenschaft derselben bemächtigt und es ist in erster Linie Holzknechts und seiner Schüler Verdienst auf Grund der Riederschen Methode die Physiologie und Pathologie des Magen-Darmtraktus im Röntgenbilde mit unermüdlichem Fleiße ausgebaut zu haben. An dieser Arbeit hat sich eine Anzahl bedeutender Forscher mit größtem Erfolge beteiligt. Wir nennen die Namen: Boas und Levy-Dorn, welche die Wismutkapseln einführten, ferner Becher, Rosenfeld, Grunmach, Stegmann, Cannon, Dubois-Reymond, Roux, Balthasard, Groedel, Lommel, Jollasse und andere mehr. Es ist hier nicht der Ort, die diagnostischen Erfolge der röntgenographischen Magenuntersuchungen ein

Magen- und Darm-Untersuchung

Priorität Rieder

gehend zu schildern; hierüber sind die einschlägigen Bücher und Zeit schriften nachzulesen. Es soll vielmehr an dieser Stelle eine Schilderung der Untersuchungstechnik gegeben werden, welche es dem Arzt ermöglicht, derartige Arbeiten zu unternehmen. Es sei nur kurz erwähnt, daß die Wismutmethode den alten Untersuchungsarten, der Aufblähung, Sondenuntersuchung, Diaphanie und Flüssigkeitseinführung nicht nur weit überlegen ist, sondern auch für den Patienten eine wesentlich größere Schonung bedeutet. Die Methode schafft uns Kenntnis von der Topographie und dem motorischen Verhalten des Magens und Darms, vom Verdauungsvorgang, der Form und Größe des Magens, seiner Lage, seiner Peristaltik, der Austreibungszeit der Speisen; ferner ermöglicht sie die Differential-Diagnose der Gastroptose und der Ektasie, sie zeigt uns den Sanduhrmagen, Stenosen am Pylorus, sowie in geeigneten Fällen Tumoren. Oft läßt sich aus dem Verhalten der wismuthaltigen Nahrung im Magen ein Schluß auf Raum beschränkende Tumoren ziehen.

Ulcus ventriculi

Auch das Magengeschwür eignet sich in vereinzelten Fällen für die Röntgen-Diagnostik (Reiche). Es wird allerdings wohl nur in den Fällen zur Beobachtung auf dem Schirm oder der Platte kommen, in welchen sich Wismut auf ihm niederschlägt. Das Salz kann lange, sogar tagelang haften. Leider bleibt es indessen nur in seltenen Fällen in Kontakt mit der Geschwürsfläche, wodurch sich dann die Diagnose des Ulcus dem Nachweis entzieht.

Die Untersuchung des Darmes zeigt uns in reicher Fülle der Bilder den gesamten Ablauf der Darmverdauung und ermöglicht bei etwaigen Störungen der letzteren die Entscheidung, ob diese funktioneller Natur oder durch organische Veränderungen bedingt ist. Bei vorhandenen Tumoren gestattet sie die präzise Lokalisierung eines die Passage störenden Hindernisses. Auch für die praktische Ausübung der Therapie unterstützt, wie Jollasse gezeigt hat, die Durchleuchtung des mit Wismutbrei gefüllten Darmes, den Arzt bei seinem Handeln. So läßt sich bei chronischer Obstipation eine geeignete Massage in rationeller Weise, unter gleichzeitiger Beobachtung auf dem Leuchtschirm vornehmen. Man ist imstande, jeden einzelnen Darmabschnitt zu massieren und das Vorschreiten seines Inhalts direkt zu beobachten.

Massage im Röntgenlicht

Die Technik der Magenuntersuchung ist eine verhältnismäßig einfache, jedoch tut man gut, sich bei den einzelnen diagnostischen Vornahmen an ein bestimmtes Schema zu halten, um nichts zu vergessen. Wir untersuchen den Magen

1. im ungefüllten Zustande,
2. im gefüllten Zustande.

Für den ersten Zweck eignet sich am besten der Bolus. Dieser wird hergestellt durch Einhüllung von zirka 2 g chemisch reinem Bismutum carbon. in Oblate. Am zweckmäßigsten bereitet man den Bolus in der Weise, daß man auf einer umgekehrten Tasse die Oblate ausbreitet, befeuchtet und auf ihr das Wismut aufschüttet. Sodann schlägt man die über den Tassenboden hängenden Oblatenränder zusammen und legt das fertige Päckchen auf einen Löffel, welchen man dem Patienten in die linke Hand gibt, mit der Weisung, auf Kommando den Bolus, ohne ihn zu zerbeißen, herunter zu schlucken. Die genaue Einwickelung ist sehr wesentlich, da ein vorzeitiges Undichtwerden der Oblate ein Auslaufen des Wismuts und damit ein Fehlschlagen des ganzen Versuches bedingt. Der Wismut-Bolus läßt sich, wie im Kapitel über Speiseröhrenuntersuchungen beschrieben, auf seinem Wege bis zum tiefsten Stande der großen Curvatur leicht verfolgen, ebenso ist seine orthoröntgenographische Einstellung zur Fixierung der unteren Magengrenze auch bei korpulenten Personen leicht möglich. An Stelle des Bolus kann man zweckmäßig auch eine Wismutaufschwemmung benutzen, welche 10—15 g Wismut in 50 ccm Wasser enthält. Diese Aufschwemmung ist bei Patienten, welchen das Schlucken des immerhin voluminösen Wismut-Bolus schwer fällt, vorzuziehen, die Aufschwemmung geht sofort an den tiefsten Punkt des Magens und ermöglicht in gleicher Weise, wie der Bolus, die Bestimmung der unteren Magengrenze.

Bestimmung der unteren Magengrenze

Für die Untersuchung des Magengeschwürs ist die Aufschwemmung zu empfehlen, da das auf diese Weise eingeführte Wismut sich unter günstigen Umständen auf die Geschwürsfläche niederschlägt.[1])

Die Untersuchung des gefüllten Magens wird durch die Riedersche Wismutmahlzeit bewerkstelligt. In eine breiige Masse, welche aus Mehl, Gries, Reis oder Kartoffeln bestehen kann, verrührt man 30—40 g reines Wismut carbon. und setzt dem Ganzen etwas Milchzucker, Himbeersaft oder sonst ein Geschmacks-Corrigens zu. Die Gesamtmasse des Breies soll 300—400 g betragen. Die Konsistenz muß so fest sein, daß Patient mittels Löffels das ganze Quantum ohne Beschwerde leicht aufessen kann. Selbstverständlich sind die Wismutmengen für Kinder wesentlich geringer zu be-

Riedersche Wismutmahlzeit

[1]) Versuche mit Escalin, welches neuerdings in der Therapie der Magenkrankheiten zur Anwendung kommt, haben zu negativem Resultat geführt, da der im Magen angeblich zustande kommende Metallniederschlag von zu geringer Dicke ist, um mittels des Röntgen-Verfahrens nachgewiesen werden zu können.

Escalin

messen, wie auch das Gesamtquantum des Breies dem Alter des Kindes anzupassen ist.

Wismut-dosierung für Kinder

$2^1/_2$ jährige Kinder erhalten bis	3 g	Bismut. carbonic.
$3^1/_2$ " " " "	5 "	" "
10 " " " "	15 "	" "

Im übrigen bedarf es bei Kinderuntersuchungen meist überhaupt nicht der Einführung von Wismut, da sich Milch, ohne Zusatz, infolge des geringen Körperdurchmessers, nachweisen läßt. Man muß an dieser Stelle darauf aufmerksam machen, daß für alle Wismutgaben am besten Bismutum carbonicum purissimum genommen wird. Vergiftungen mit Bism. subnitr. sind bereits vorgekommen. Hildebrand hat zwei Todesfälle bei Kindern gesehen, deren Darm mit Wismut per anum aufgefüllt worden war. Er beschreibt die Vergiftungserscheinungen als sehr eigenartige. In beiden Fällen fand sich starke Bildung von Methaemoglobin und das äußere Bild war das gleiche wie bei Vergiftungen mit chlorsaurem Kali. Hildebrand warnt auf das eindringlichste vor der Anwendung des Wismuts bei Kindern, so verführerisch es auch sei, gerade bei der Hirschsprungschen Krankheit sich dieser Methode zu bedienen. Ich selbst habe bei meinen zahlreichen Kinderuntersuchungen niemals irgendwelche nachteiligen Folgen gesehen, ebensowenig wie bei den Untersuchungen Erwachsener. Ich schiebe dieses besonders auf die Benutzung des chemisch reinen Bismut. subn. oder carbonic., unter strikter Innehaltung der oben angegebenen Dosen. Während sich zahlreiche Untersucher im Sinne der Unschädlichkeit des Wismuts geäußert haben, sind außer den eben mitgeteilten schlechten Erfahrungen von Hildebrand Mitteilungen in der Literatur niedergelegt worden, welche bei der Anwendung des Bism. subn. zu größter Vorsicht mahnen.

Bismut. subnitr.-Vergiftung

Bennecke veröffentlicht 1906 den Exitus eines drei wöchentlichen Kindes nach dem Genuß von 3—4 g Bism. subnitr. in 100 ccm Milch. Desgleichen sah Böhme bei einem anderthalbjährigen Kinde einen Todesfall. Neuerdings publizierte Erich Meyer einen Todesfall eines zwanzigjährigen Patienten, welcher 50 g Bism. subnitr. erhalten hatte. Drei Stunden nach der Mahlzeit erfolgte der Collaps. Im Blut und Urin konnten Spuren von Nitrit nachgewiesen werden. Schließlich ist noch der tödliche Fall bei einem zweiunddreißigjährigen Mann, welchen Perutz veröffentlicht, zu erwähnen. Zwei leichte Wismutvergiftungen beobachtete und berichtete Kaestle. Den Exitus eines 44 jährigen Mannes an Nitritvergiftung beschreiben Nowak und Gütig. Drei nicht tötliche Fälle von Bism. subnitr.-Vergiftung sah Zabel. Levin und Miethe warnen ebenfalls vor dem Gebrauch des Bism. subnitr.

Aus den verschiedenen Mitteilungen über Wismutvergiftungen geht hervor, daß es sich stets um Nitritvergiftungen und nicht um Wismutvergiftungen gehandelt hat. Dieses wird dadurch bewiesen, daß sich im Blut und in der Perikadialflüssigkeit (Heffter) salpetrige Säure hat nachweisen lassen. Außerdem konnte Methaemoglobinaemie festgestellt werden.

Es ist selbstverständlich, daß für diagnostische Zwecke von nun an das Bismut. subnitr. durch das jedenfalls ungefährliche Bism. carbonic. ersetzt werden muß. So weit meine Erfahrungen reichen, hat das letztere nicht die schädlichen Nebenwirkungen, auch tritt, wie man vielleicht befürchten könnte, keine Auftreibung des Magens oder der Därme durch Kohlensäureentwickelung ein.[1])

Magneteisenstein als Wismutersatz

Das Wismut geht unverändert in den Faeces in Form von mit schwarzem Wismut-Oxydul überzogenen Kristallen ab (Groedel, Levin, Alexander). Neuerdings wurde als Ersatz für Wismut Magneteisenstein (Diaphanit) empfohlen. Soviel mir bekannt geworden ist, hat dieser sich nicht eingeführt. Auch das Thorium oxydatum anhydricum hat Kaestle für die Magen- und Darmuntersuchungen angewendet.

Thorium desgl.

Wismutaufenthalt im Magen u. Darm

Die Aufenthaltszeit des Wismut im Magen ist von großer Bedeutung für die Diagnosenstellung. Normalerweise sind nach drei Stunden 30 g Wismut aus dem Magen verschwunden. Sollten sich nach sechs Stunden noch deutliche Wismutreste nachweisen lassen, so kann man schon auf eine gewisse Atonie oder Myasthenie schließen. Wismutmengen, die man nach acht Stunden und später im Magen findet, müssen den Verdacht auf eine Pylorus-Stenose unbedingt hervorrufen.

Für die Untersuchung des Darms kommt in erster Linie der Riedersche Wismutbrei in Betracht. Nach etwa 16 Stunden hat das Wismut normalerweise den Darm wieder verlassen.

Wie außerordentlich dieser Zeitraum überschritten werden kann, lehrt folgender Fall.

Patient erhielt am Mittwoch, den 29. April 1908, abends 10 Uhr, die Wismut-Mahlzeit Am Donnerstag morgens 10 Uhr, also nach zwölf Stunden, wurde die erste Untersuchung gemacht. Die Wismutmahlzeit befand sich in der Gegend des Coecum. Am Donnerstag nachmittag, also nach 18 Stunden, war der Befund annähernd derselbe. Am Freitag, den 1. Mai, morgens 10 Uhr, also nach 30 Stunden war die Wismutmahlzeit in Quer-Colon bis zur Flex. lien. deutlich sichtbar. Am Sonnabend, den 2. Mai, 10 Uhr vormittags, also nach 60 Stunden, war ein Teil der Wismutmahlzeit im Colon descendens sichtbar; ein Teil war mit dem Stuhlgang bereits abgegangen. Da sich während der ganzen Beobachtungszeit der Passage des Breies durch den Darm niemals eine Stauung hat beobachten lassen, so nahm ich an, daß kein

[1]) Siehe Schüle, Archiv für die Verdauungskrankheiten, Bd. 11.

Hindernis vorhanden sei, daß dagegen eine außerordentliche Stuhlträgheit vorliege, da man normalerweise nach 16 Stunden einen leeren Darm zu finden pflegt.

Da nun im vorliegenden Falle der Patient vor Jahren wegen Darmkrebs operiert worden ist, so darf man diesen Faktor natürlich nicht außer acht lassen.

Nach Ablauf von 17 Monaten konstatierte ich völliges Wohlbefinden des Patienten. Es lag also wohl nur eine abnorme Darmträgheit, vielleicht im Zusammenhang mit der alten Operation vor.

Den Dickdarm kann man nach gründlicher Entleerung mittels eines Einlaufs von 1 l Wasser, Öl oder Milch, dem 100 g Wismut beigemengt sind, untersuchen.

Schließlich sei erwähnt, daß man unter Umständen die Wismutmethode mit der Einführung von Brausepulvern vereinigt. Man erhält hierbei außerordentlich scharfe Kontraste, die von großem Werte sein können.

Durchleuchtung oder Aufnahme?

Es ist in neuerer Zeit in der Literatur viel darüber verhandelt worden, ob die Durchleuchtung oder die Plattenaufnahme der mit Wismut gefüllten Eingeweide vorzuziehen sei. Holzknecht hat besonders den Wert der Schirmuntersuchung hervorgehoben und dem Plattenverfahren die Bedeutung im allgemeinen abgesprochen. Andere Autoren, wie z. B. Goldammer, sind der entgegengesetzten Ansicht und erblicken den weit höheren Wert in der Plattenaufnahme. Nach meinen Erfahrungen ist die einseitige Betonung des einen oder des andern Verfahrens unrichtig. Am weitesten wird man kommen, wenn man beide Arten der Untersuchung kombiniert. Es ist Holzknecht unbedingt darin zuzustimmen, daß die Beobachtung am Lebenden in vielen Fällen einen durch keine Aufnahme ersetzbaren Eindruck gibt. Es braucht nur an die Peristaltik erinnert werden, welche auf dem Leuchtschirm in überraschender Weise zu beobachten ist. Trotzdem bin ich im Gegensatz zu Holzknecht der Ansicht, daß der Nachweis von Magentumoren besser durch eine Plattenaufnahme gelingt, als mittels der Durchleuchtung. Es ist selbstverständlich, daß an solche Aufnahme bezüglich der technischen Ausführung die höchsten Ansprüche gestellt werden müssen. Da die Erzielung wirklich tadelloser, besonders auch stereoskopischer Röntgenogramme recht schwierig ist, so mag es hierin begründet liegen, daß die Röntgenographie in der Diagnostik der Magentumoren bei einigen Autoren in Mißkredit geraten ist.

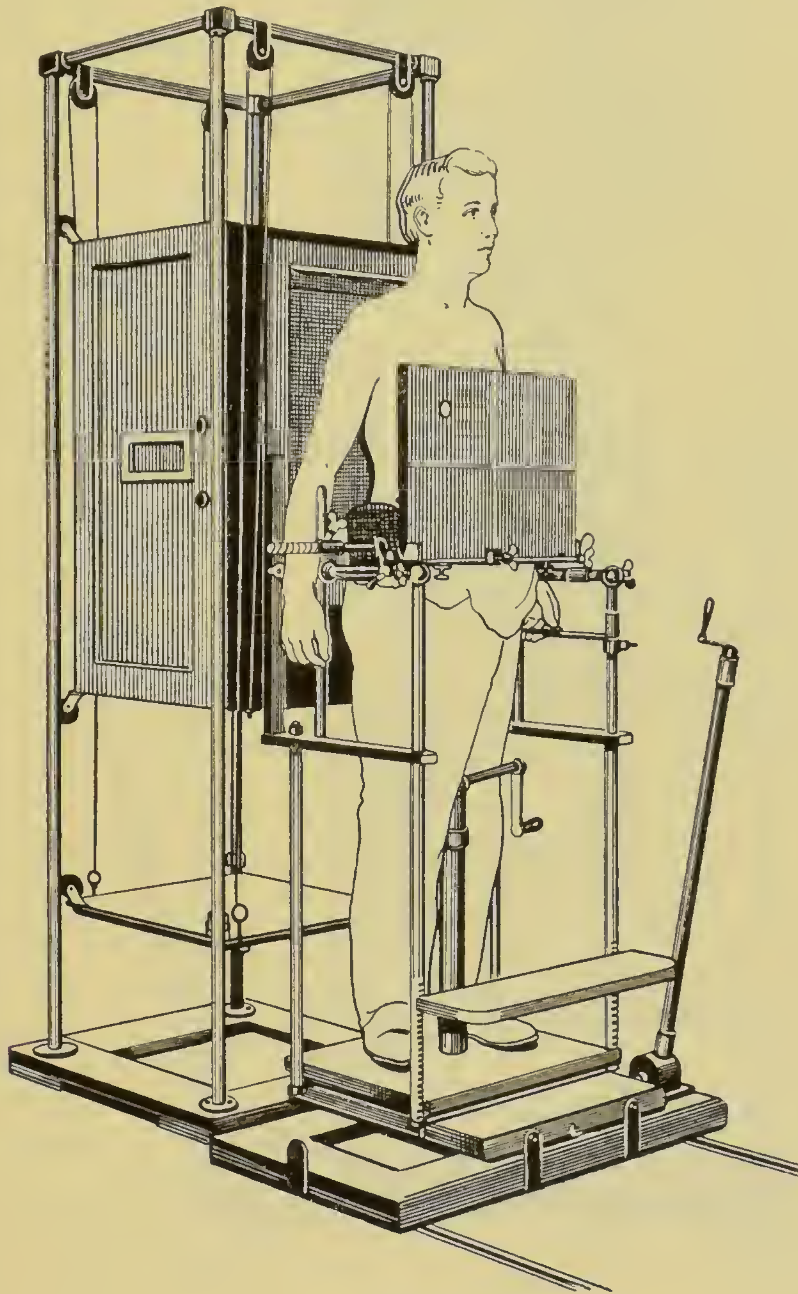
Sehr wichtig ist, worauf ich bereits in der zweiten Auflage meines Lehrbuches hingewiesen habe, die Magen-Orthoröntgenographie, von deren Technik ich weiter unten sprechen

werde. Letztere hat durch Groedel neuerdings eine weitere Ausgestaltung erhalten.

Der Gang der Untersuchung gestaltet sich folgendermaßen:

a) Durchleuchtung.

Zunächst wird der Patient, wie Fig. 226 *(1. typische Stellung)* zeigt, vor die Durchleuchtungskiste gestellt, event., wenn es sich um



Magen-durchleuchtung

Fig. 226.
1. typische Stellung: Magen dorsoventral.

schwächliche Patienten handelt, auf den Seite 250 beschriebenen Radsattel gesetzt. Die Höhe der Lichtquelle ist auf den neunten Brustwirbel, welcher ungefähr der Höhe der Cardia entspricht, einzustellen. Der Leuchtschirm wird mittels der hierzu bestimmten Schiene fest gegen den Unterleib des Patienten angedrückt. Ein leichter Grad

von Kompression läßt sich ohne weiteres durch die Schienenfixierung des Leuchtschirms ausüben, ohne daß man nötig hat, den letzteren mit den Händen anzudrücken. Nachdem man die Röhre für kurze Zeit zur Probe eingeschaltet hat, um sich über die Blendenweite, sowie die Qualität des Lichts ein Urteil zu bilden, erhält der Patient den

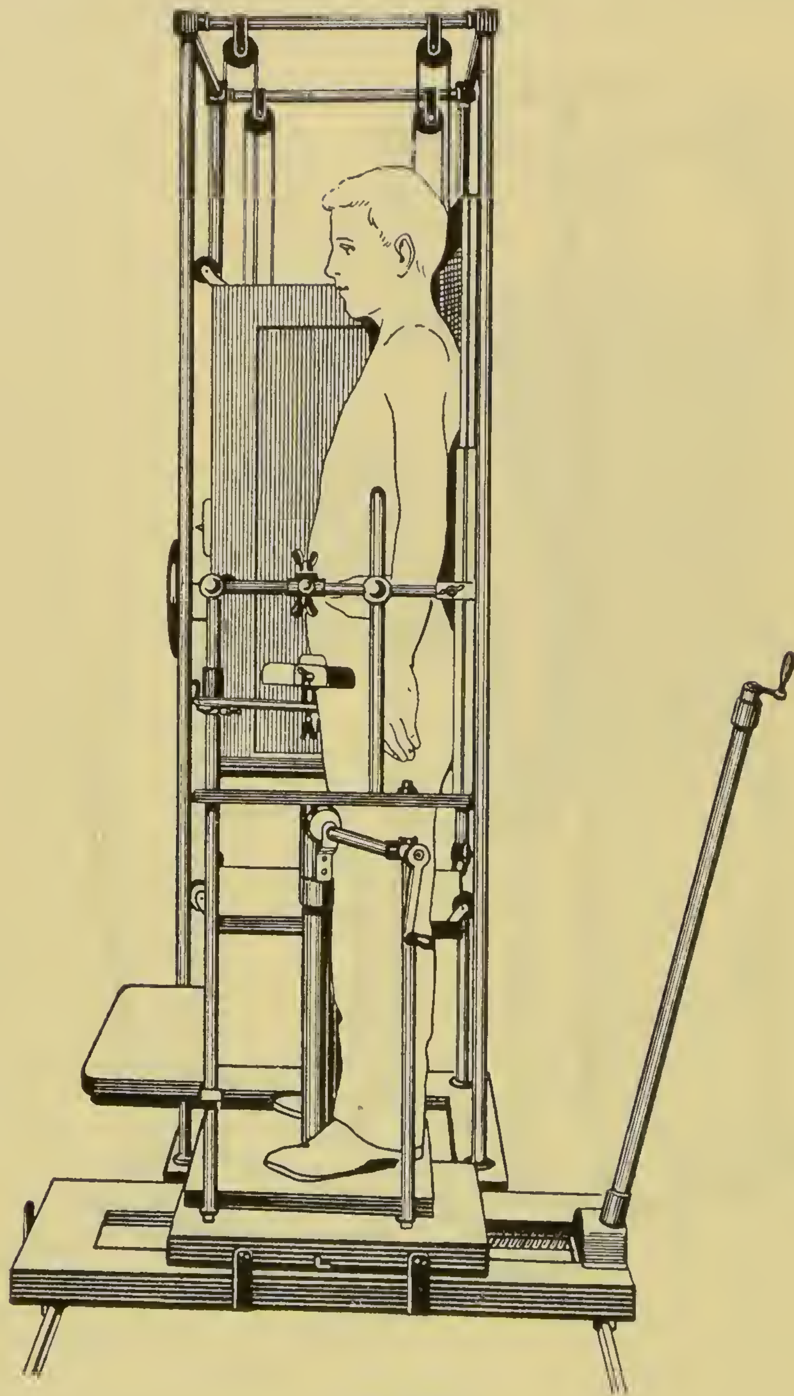


Fig. 227.
2. typische Stellung: Magen frontal.

Wismutbolus, die Aufschwemmung oder den Brei. Sobald man das Wismut annähernd lokalisiert hat, wird durch Einengung der Schiebeblende der Magen aus dem diffusen Schatten des Abdomen heraus geblendet. Man hat nunmehr Gelegenheit, die Peristaltik auf das schönste zu beobachten. Zur orthoröntgeno-

graphischen Feststellung der unteren Magengrenze oder anderer in Betracht kommender Punkte wird die Schiebeblende so weit eingeengt, daß man in dem ca. ein Finger breiten Lichtspalt den zu Magenortho-röntgenographie

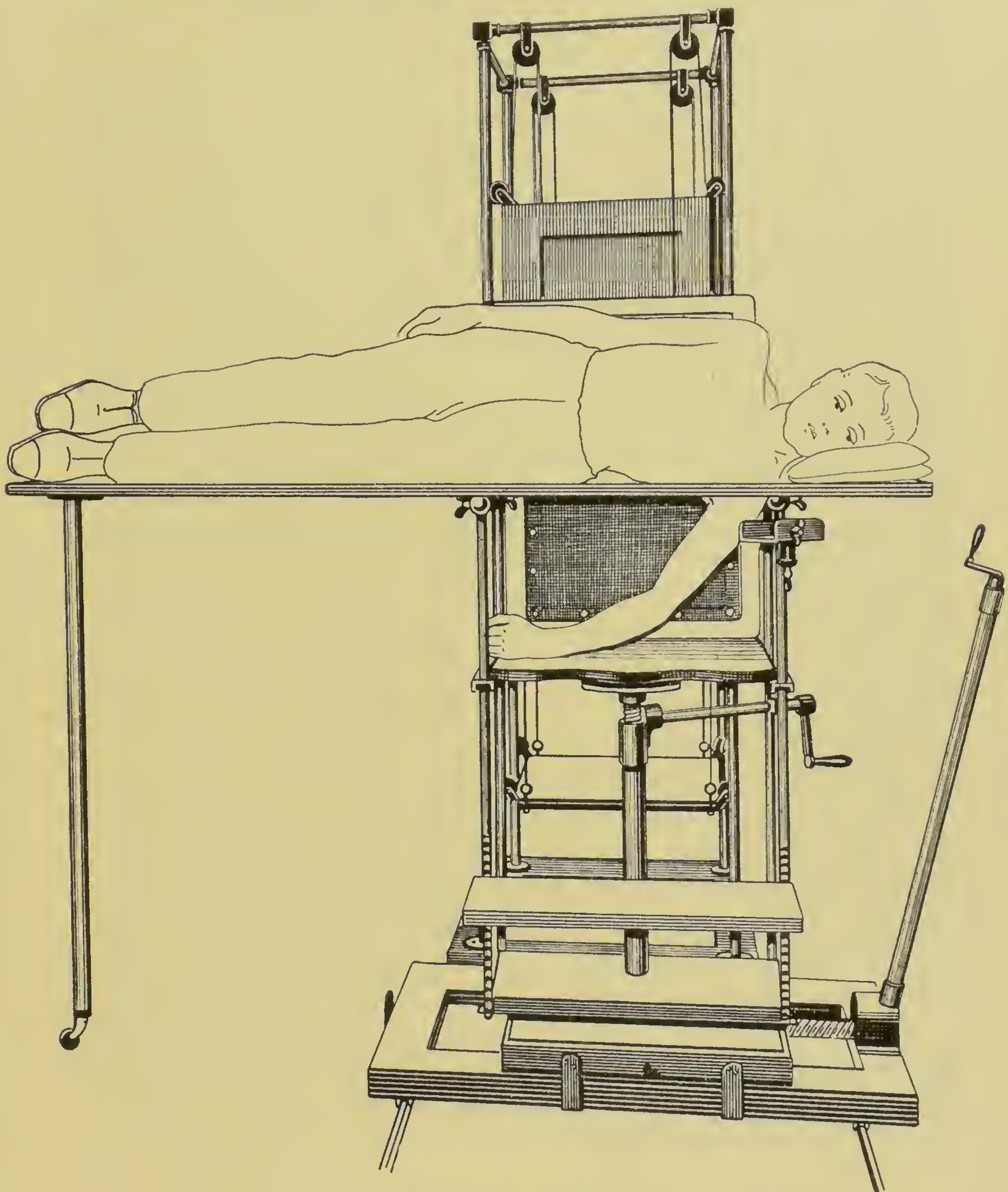


Fig. 228.

3. typische Stellung: Magen dorsoventral in Seitenlage.

fixierenden Punkt, z. B. die große Curvatur, erblickt. Mittels eines Dermographen bezeichnet man diesen Punkt auf der Bauchhaut. Der von Groedel angegebene Orthoröntgenograph, welcher einen kleinen, im Zentralstrahl verschiebbaren, zur Kompression dienenden

Leuchtschirm trägt, ist sehr praktisch. Für Besitzer des von mir angegebenen Durchleuchtungs-Instrumentariums ist er indessen überflüssig, da man die genaue orthoröntgenographische Aufzeichnung in vorbeschriebener Weise mit größter Exaktheit und sehr schnell ausführen kann. Nach beendeter Untersuchung in dorsoventraler Richtung wird der Stuhl um 90 Grad gedreht und Patient in der ***2. typischen Stellung*** von der Seite durchstrahlt (Fig. 227). Etwaige orthoröntgenographische Zeichnungen lassen sich auch in dieser Stellung durch Einengung der Schiebeblende leicht bewerkstelligen. Auf die Untersuchung in Seitenstellung folgt die Durchleuchtung in linker Seitenlage ***(3. typische Stellung).*** Hierzu dient das auf dem Untersuchungsstuhl anzubringende Liegebrett. In letzteres ist in Schulterhöhe ein ovales Loch eingeschnitten, durch welches, wie Fig. 228 zeigt, der Patient seinen Arm steckt. Lagert man den Kranken mit emporgeschlagenem linken Oberarm, so liegt der Thorax nicht horizontal, außerdem verzieht sich die Brust- und Bauchhaut und behindert dadurch ein exaktes Aufzeichnen des Durchleuchtungsbefundes. Auf die Durchleuchtung in Seitenlage folgt als ***4. typische Stellung*** die Schlußuntersuchung auf dem Trochoskop in Rückenlage. Diese letztere ist namentlich zur Darmuntersuchung wichtig, da man weit schöner, als bei stehendem Patienten, bei Horizontallage den Wismutbrei auf seinem Wege durch den Darm beobachten kann. Massagen wird man ebenfalls in Horizontallage vornehmen.

Alle Befunde, welche die Durchleuchtung in den verschiedenen Stellungen ergeben hat, kann man entweder direkt auf der Haut des Patienten mittels Dermographen fixieren, oder man zeichnet auf die den Leuchtschirm deckende Bleiglasplatte im Röntgenlicht Skizzen, welche man dann nach Schluß der Untersuchung auf Papier überträgt. Da eine ausführliche Röntgenuntersuchung mittels Durchleuchtung und Aufnahme längere Zeit in Anspruch nimmt, so muß man sich der Gefahr etwaiger Hautschädigungen des Patienten bewußt bleiben. Man tut gut, die Untersuchung auf zwei Tage zu verteilen, auch werden hierdurch die Augen des Untersuchers weniger angegriffen.

b) Die Aufnahme.

Magenaufnahmen

Man schließt die röntgenographische Aufnahme des Magens und Darmes zweckmäßig sofort an die Durchleuchtung an, indem man das auf dem Schirm beobachtete und eingestellte Bild nach Auswechselung des Leuchtschirmes durch eine Plattenkassette röntgenographiert. Es läßt sich dies in sämtlichen Lagen ohne weiteres ausführen, da sich die Kassette gut feststellen läßt und auch der

Patient durch die verschiedenen Vorrichtungen am Untersuchungsstuhl sicher fixiert werden kann. Trotzdem liegt, da die Expositionszeit wegen der Dicke der zu durchdringenden Körperteile nicht allzu kurz bemessen werden kann, die Gefahr einer Bewegung des Kranken, die die Güte des Bildes sofort zerstört, nahe. Man sollte daher auch in Bauchlage, namentlich in solchen Fällen, bei denen es sich um Nachweis von Tumoren handelt, eine Aufnahme machen. Durch die Bauchlage wird ohnehin eine gewisse Kompression, die dem Bilde zugute kommt, erzielt. Das Beste leistet hier die Kompressionsblende mit dem großen Zylinder von 19 cm Durchmesser. Goldammer, welcher der Aufnahme in Bauchlage besonders das Wort redet, hat meines Erachtens durch Unterlassen einer zweckmäßigen Abblendung auf höhere Vervollkommnung seiner Aufnahmen verzichtet. Die hier und da immer noch auftauchende Ansicht, daß die Anwendung zweckentsprechender Blenden mit Mühe und Zeitverlust verbunden sei, hat auch in diesem Falle die Herstellung völlig guter Magenbilder verhindert. Ein mittels Kompressionsblende aufgenommenes Röntgenogramm zeigt mit außerordentlicher Schärfe den Magen, sowie die umgebenden Weichteile, ferner die beiden Zwerchfellkuppen und das Wismut. Etwa vorhandene Tumoren markieren sich durch das zerklüftete Aussehen des Wismutschattens usw. Die Momentaufnahmen haben die Magenröntgenographie wesentlich verbessert. Mit den modernen Apparaten und namentlich mit der während der Drucklegung dieses Buches erfundenen neuen Gehlerschen Folie kann man in Bruchteilen von Sekunden Aufnahmen machen, welche jede Phase der Peristaltik auf das schärfste zeigen.

Die Aufnahmetechnik des Magens und Darmes auf dem Trochoskop gestaltet sich sehr einfach, da man vor Beginn derselben auf dem Leuchtschirm das darzustellende Bild genau einstellen und abblenden kann. Irgendwelche Bewegungen des bequem in Rückenlage liegenden Patienten hat man hier nicht zu befürchten. Die für die Aufnahme so ungemein nützliche mäßige Kompression des Abdomen erzielt man durch Druck mittels des Kassettenhalters oder des von Haenisch hierzu angegebenen Spezialinstrumentes.[1])

---

[1]) Fortschritte Bd. XII Heft 6.

29. Kapitel.

Die Stereoskopie und Fremdkörperlokalisation.

Röntgen-Stereoskopie

Da Stereoskopie und Fremdkörperlokalisation zahlreiche Berührungspunkte haben, sollen diese beiden Techniken gemeinsam abgehandelt werden. Der Wunsch, stereoskopische Bilder der einzelnen Partien des menschlichen Skelettes zu haben, ist ein außerordentlich berechtigter, da über die Tiefendimensionen, sowie über die Lage der einzelnen Knochen zueinander, ferner über die Stellung von Frakturen die gewöhnliche Art der Röntgenplatten bisweilen keinen ausreichenden Aufschluß gibt. Bei der Frage der angeborenen Hüftluxation ist es von Wichtigkeit, über die Stellung des Schenkelkopfes zur Pfanne Näheres zu erfahren, denn die Operationsmethode ist auf Kenntnis dieser Verhältnisse basiert. Auch die Fremdkörperbestimmung läßt eine gute stereoskopische Technik als wünschenswert erscheinen, weil die Meßmethoden sich im allgemeinen als zu schwerfällig und umständlich herausgestellt haben.

Nicht weniger wichtig ist die Stereoskopie für die Untersuchung der Gelenke, da die flächenhaften Bilder infolge der durch die verschiedenen Projektionen bedingten Verzeichnungen oft zu völlig falschen Vorstellungen Veranlassung geben. Stereoskopische Kopfaufnahmen verwandeln das so schwer zu deutende flächenhafte Röntgenogramm des Schädels in ein lebensvolles, klar verständliches Bild. Die stereoskopischen Zahnaufnahmen sowohl die auf Films gemachten, wie die Kieferaufnahmen auf Platten gewähren wie kaum ein anderes Röntgenbild geradezu einen künstlerischen Genuß.

Unter den Autoren, welche die Technik der Röntgenstereoskopie begründet haben, sind Mackenzie Davidson[1]), Levy-Dorn, Hildebrand, Lambertz, Walter, Drüner, Albers-Schönberg, Gillet, Fürstenau, Alexander, Penneman, Eijkman, Köhler u. a. zu nennen.

Die stereoskopischen Thorax-, Herz- und Lungenaufnahmen sind zuerst von Köhler im Jahre 1905 vorgeführt worden. Die Bilder, welche von wunderbarer Plastik waren, fanden den ungeteilten Beifall des ersten Röntgenkongresses. Die Herstellung ist sehr schwer, da es nicht leicht ist, zweimal hintereinander dieselbe

[1]) Dieser Autor war wohl der erste, welcher stereoskopische Aufnahmen herstellte. cf. „Stereoscopic Skiagraphy". British Medical Journal 1898. „Röntgen Rays and Lokalisation" (daselbst).

Atemphase einzustellen. Es gehört hierzu jedenfalls ein besonders intelligenter Patient, wie solcher Köhler zur Verfügung stand.

Bevor ich das ältere, aber noch immer in Gebrauch befindliche Verfahren von Hildebrand schildere, möchte ich auf eine ausführliche Arbeit über Stereoskopie und stereoskopische Messung in der Röntgentechnik von Drüner[1]) hinweisen. Er hat eine vollständige Apparatur hierzu erfunden und besonders auch zweckmäßige Röntgenstereoskope.

Drüner schreibt folgenden Satz, den ich der Besprechung der Technik vorausschicken möchte:

„Die Grundsätze der stereoskopischen Röntgenographie lehnen sich eng an die photographische Stereoskopie an, und sind gewissermaßen ein Spezialgebiet derselben. Sie sind längst ausgebaut, physikalisch genau durchgearbeitet, und der, welcher über Stereoskopie in der Röntgenologie arbeiten will, hat die Aufgabe, sich mit den Grundsätzen der photographischen Stereoskopie vorher bekannt zu machen."

Stereoskopisches Verfahren nach Hildebrand.

Stereoskopisches Verfahren nach Hildebrand

Das Verfahren, welches von Hildebrand angegeben wurde, ist für die Praxis in manchen Fällen recht geeignet, da es Resultate, welche klinisch durchaus brauchbar sind, ergibt. Hildebrand konstruierte folgenden Kassettenrahmen (Fig. 229). Auf einer Holzplatte von 85 cm Länge und 60 cm Breite befinden sich drei Leisten, an drei Seiten von $3^1/_2$ cm Höhe. Auf dieselbe ist ein Pappdeckel in der Art aufgenagelt, daß der Innenraum überall mit Ausnahme der Vorderseite vollständig abgeschlossen ist. In diesem schmalen Kasten können die gewöhnlichen großen Röntgenkassetten vom Formate 40/50 bequem hineingeschoben werden. Der Papprahmen ist an seinem einen Ende mit einer verschieblichen Bleiplatte (*a*) in einer Ausdehnung von 25 cm abgedeckt. Hierauf folgt ein 25 cm breiter Pappstreifen, welcher vom Blei nicht bedeckt ist, und darauf wieder eine 25 cm breite Bleiplatte (*b*), so daß also der Pappdeckel des Kassettenkastens in drei gleichgroße Teile zerfällt, von denen zwei mit Blei bedeckt sind und der mittlere ungedeckt ist. Die verschiebliche Bleiplatte (*a*) kann der Platte (*b*) beliebig genähert werden, so daß der ungedeckte Zwischenraum verkleinert wird, eine Vorkehrung, die dann von Bedeutung ist, wenn man kleine Plattenformate benutzen will. Die Röntgenkassette wird nun so in diesen Pappkasten hineingeschoben, daß die Platte zur Hälfte unter den am Ende des Kastens befind-

[1]) Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, IX, S. 225.

lichen Bleideckel (*a*) zu liegen kommt, während sich die andere Hälfte unter dem nicht mit Blei gedeckten Pappdeckel befindet. Wird nun diese freie Hälfte der Platte belichtet, so befindet sich unterdessen die andere Hälfte sicher vor der Strahlung unter dem Schutz der Bleidecke (*a*). Zieht man nach vollendeter Aufnahme die Kassette an den Handgriff (*c*) um 25 cm nach vorn, so kommt der Teil, welcher bereits belichtet ist, unter den vorderen Bleistreifen (*b*) zu liegen und die unbelichtete Hälfte der Platte unter den nicht gedeckten Teil des Pappdeckels. Auf diese zweite Hälfte

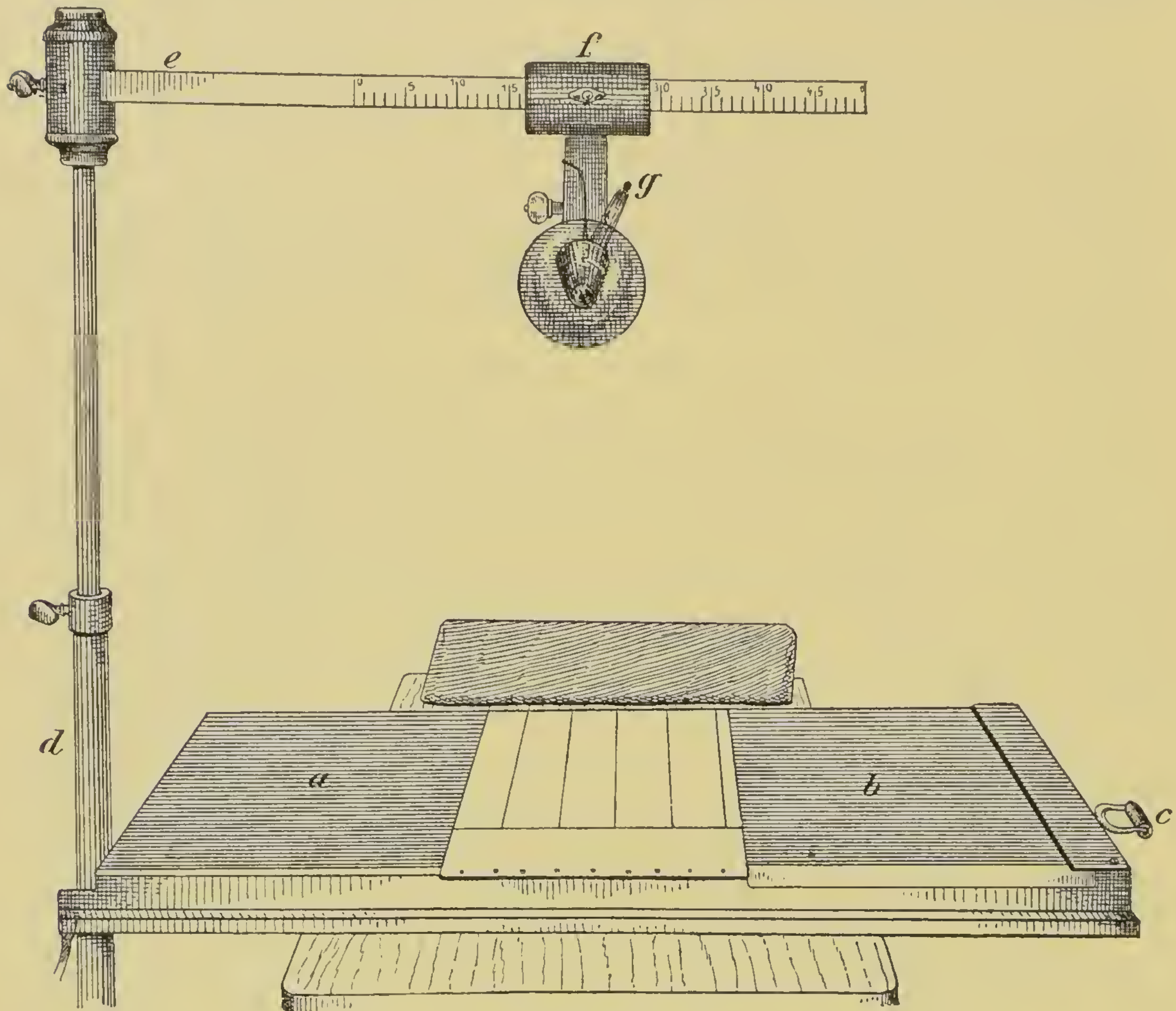


Fig. 229.

kann nun ebenfalls eine Aufnahme gemacht werden, ohne daß die bereits belichtete erste Hälfte, welche sich unter der Bleideckung (*b*) befindet, in Mitleidenschaft gezogen wird. Dieser Pappdeckel des Kassettenkastens enthält Orientierungslinien, welche die Größe der verschiedenen Plattenformate angeben, so daß man imstande ist, auch kleinere Formate in derselben Weise zur Aufnahme zu benutzen. Es bedarf dann allerdings einer Einlage von entsprechend großen Papprahmen in die Plattenkassette.

Das für die Einstellung der Röhre erforderliche Stativ (*d*) hat einen horizontal gerichteten Arm (*e*), welcher mit einer Zentimeter-

graduierung versehen ist und einen verschiebbaren Röhrenhalter (*g*) trägt. Man kann also die Röhre in jeder Stellung oberhalb des Kassettenrahmens fixieren und dieselbe nach Belieben auf dem Arm (*e*) hin und her schieben[1]).

Patient wird, wie Fig. 230 zeigt, so auf den Kassettenrahmen gelagert, daß er mit dem zu röntgenographierenden Körperteil, in diesem Fall dem Becken, auf dem mit Blei nicht gedeckten Stück

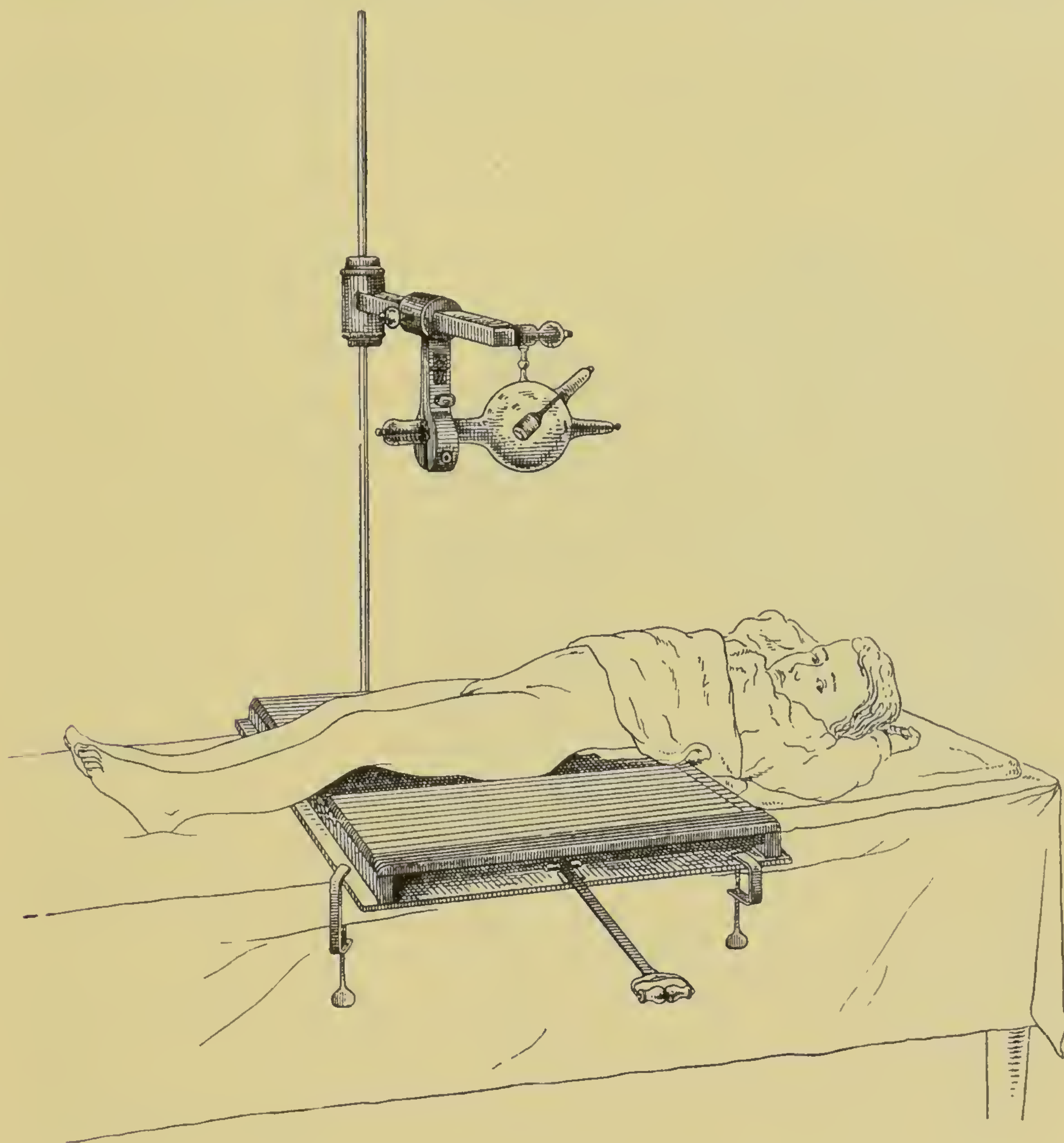


Fig. 230.

liegt. Die Röhre wird 50 cm über einem, $3^1/_2$ cm rechts seitlich von der Mittellinie befindlichen Punkt eingestellt und alsdann die Aufnahme gemacht. Ist dieselbe beendigt, so wird, ohne daß der Patient im mindesten seine Lage ändert, die Kassette 25 cm vorgezogen und die Röhre um 7 cm an dem mit einer Graduierung

[1]) Diese Stereoskopkassetten usw. werden von Dr. Wagner, Hamburg, Steindamm, entsprechend den Angaben von Hildebrand hergestellt.

versehenen Arm verschoben, sie befindet sich jetzt am korrespondierenden Punkt $3^1/_2$ cm links von der Mittellinie. Die zweite Aufnahme findet mit derselben Röhre und gleicher Expositionszeit statt. Nach dem Entwickeln hat man auf der Platte ein doppeltes Bild, welches von zwei verschiedenen, 7 cm auseinanderliegenden Punkten aufgenommen ist. Dieses Doppelbild unterliegt nun einer Verkleinerung auf den gewöhnlichen Maßstab für stereoskopische Bilder. Die bekannten im Handel käuflichen Stereoskope ermöglichen eine Betrachtung der Röntgenogramme und ein genaues Studium derselben, wodurch wir ausreichend über alle anatomischen Details, sowie über die Lage von Fremdkörpern orientiert werden.

Es läßt sich nicht leugnen, daß dieses Verfahren zeitraubend ist, da die Verkleinerung meist nicht sofort vorgenommen werden kann, sondern erst, nachdem die Originalplatte getrocknet ist. Besonders störend ist dieses, wenn es sich um die Lokalisation von Fremdkörpern, welche sofort entfernt werden müssen, handelt. Ferner ist es sehr mißlich, daß die Stereoskopbilder nur im verkleinerten Maßstabe hergestellt werden können, wodurch viele Strukturdetails verloren gehen, und, da man das Bild nicht in natürlicher Größe sieht, die Schätzung der wirklichen Tiefendimensionen erschwert ist.

Röntgen-Stereoskop nach Walter

Um diesen Mängeln abzuhelfen, sind von Walter Spiegel-, Prismen- und Linsenstereoskope[1]) angegeben worden, welche es ermöglichen, die stereoskopisch aufgenommenen Originalbilder direkt zu betrachten, wodurch wesentlich an Zeit gespart wird und die Verkleinerung in Wegfall kommt, was für die Beurteilung der Platten und für die Herabsetzung der Plattenunkosten sehr wertvoll ist. Die Handhabung dieser Apparate, über welche im Original nachzulesen ist, ist verhältnismäßig einfach.

Röntgen-Stereoskop nach Bartholdy

Während gut dotierten Kliniken und Krankenhäusern die Walterschen Apparate zu empfehlen sind, reicht für die Praxis das Stereoskop von Bartholdy[2]) zur Besichtigung der Originalnegative vollständig aus. In ihm sind statt der üblichen Stereoskopgläser, welche prismatische Linsenausschnitte darstellen, einfache Prismen zur Verwendung gekommen. Der Apparat besteht, wie Fig. 231 zeigt, aus einem mit einem Auszug versehenen, durch eine Zwischenwand in zwei Teile geteilten Kasten, an dessen einem Ende die zwei Rahmenschlitze, einer für die Originalplatte und

---

[1]) *Fortschritte a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen.* Bd. VI, S. 18. Zu beziehen von Ad. Krüß, Hamburg.

[2]) Zu beziehen von A. Horn, Wiesbaden, Schwalbacherstraße 73. (Preis 20—30 Mk. Je nach Ausführung).

einer für die Mattscheibe angebracht sind. Der Auszug endet in einem Ansatzstück, in welchem sich die Prismen in Augendistanz (6,6 cm) befinden. Der Kasten ist für Aufnahme von Platten 30×40 und abwärts eingerichtet. Für die kleineren Formate werden Einsatzrahmen benutzt. Man verfährt nun folgendermaßen:

Die mit dem stereoskopischen Doppelbilde versehene Platte wird — in eiligen Fällen im feuchten Zustand — in den vorderen Rahmenschlitz mit der Schichtseite nach vorn eingeschoben und gegen den hellen Himmel in der Durchsicht betrachtet. Der hintere Rahmenschlitz ist für die Mattscheibe bestimmt, die bei sehr schwach gedeckten Platten und bei Lampenbeleuchtung zur Anwendung kommt, in letzterem Falle, um eine diffusere Belichtung zu erhalten Für die Korrektur verschiedener Sehweiten genügt die Verschiebung des die Prismen tragenden Vorderteiles. Für stärkere Verschiebung, wie sie z. B. bei kleinerem Plattenformat notwendig ist, empfiehlt sich die Verschiebung des Rahmenteiles. (Annäherung an die Prismen.) Der Gesamtauszug entspricht der bequemsten Sehweite für die Platte 30×40 cm.

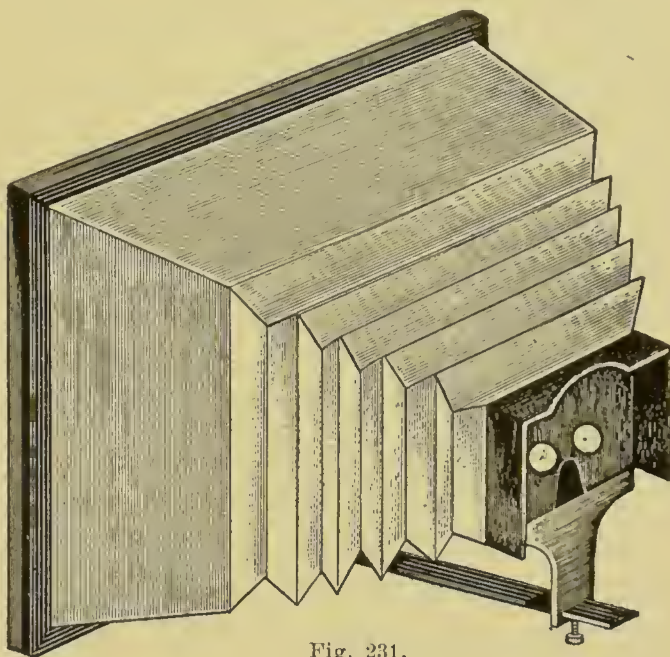


Fig. 231.

Die kleineren Platten werden in ihrem Einlegrahmen in den großen Rahmen eingeschoben. Am Laufbrett befindet sich ein Normalgewinde zum Aufstellen des Apparates auf jedem gewöhnlichen photographischen Stativ. Die Lichtklappe am oberen Rahmenteil kommt nur bei der Betrachtung von Abzügen zur Anwendung.

Wechselkassetten für Stereoskopie

Um bei Extremitäten- und Gelenkaufnahmen, welche stereoskopisch hergestellt werden sollen, nicht gezwungen zu sein, stets den großen Hildebrandschen Rahmen zu benutzen, habe ich Wechselkassetten für das Plattenformat 18/24 konstruiert. Eine Platte vom genannten Format kann sowohl von der Längs- wie von der Breitseite in eine dieser Wechselkassetten hineingeschoben werden. Die seitlichen Holzteile der letzteren sind so breit, daß sie auf den Tisch fest angeschroben werden können. Die Hand oder der Arm des Patienten wird mittels Gummibinde auf der Wechselkassette aufbandagiert und die letztere alsdann mit einer Klammer

auf dem Tisch festgeschroben, wodurch die Garantie gegeben ist, daß eine Veränderung in der Lage des Armes nicht stattfinden kann. Nunmehr wird eine Plattenkassette vom Format 18/24 in die seitliche Öffnung der Wechselkassette hineingeschoben, die Röhre, wie oben beschrieben, eingestellt und die erste Aufnahme gemacht. Hierauf wird die Kassette herausgezogen, eine zweite hineingeschoben, die Röhre um 7 cm seitlich verstellt und die zweite Aufnahme vorgenommen. Wir haben also zwei Bilder auf zwei einzelnen Platten. Ist man im Besitz des Walterschen oder Bartholdyschen Stereoskopes zur Betrachtung der Originalplatten, so ist die Aufnahme auf zwei Platten ein Vorteil, denn bei Anwendung derselben müssen die Negative, welche betrachtet werden sollen, in bestimmter Weise zueinander aufgestellt werden. Sind die Aufnahmen auf einer großen Platte vereinigt, so ist ein Auseinanderschneiden derselben erforderlich, was bei Benutzung der von mir angegebenen festzuschraubenden Wechselkassetten für kleine Formate in Fortfall kommt. Auch für die Aufnahme des Kopfes empfiehlt es sich, mit diesen Kassetten zu arbeiten, da man auf sie den Kopf besser aufbandagieren kann, als es auf den großen möglich ist.

Eine der Hauptindikationen für die Stereoskopie, nämlich die Aufnahme der angeborenen Hüftgelenksluxation bei Kindern kann, wenn man Übersichtsbilder haben will, mittels des großen Hildebrandschen Kassettenkastens (Fig. 230) gemacht werden, wobei zu beachten ist, daß er mit einer Schraube fest am Tisch befestigt werden muß, da sonst leicht beim Wechseln der Platte eine Verschiebung stattfinden kann. Die Aufnahme ist nicht ganz einfach und wird häufig von Mißerfolgen begleitet sein, da es schwer hält, kleinere Kinder bei den mannigfachen Manipulationen in absoluter Ruhelage zu halten. Bei größeren Kindern, welche auf Zureden hören, dürfte dieses Hindernis wegfallen.

Röhrenverschiebung nach Marie und Ribaut

Man hat bisher stets die Verschiebung der Röhre um 7 resp. 9 cm vorgenommen, ohne besondere Rücksicht auf den Durchmesser des stereoskopisch darzustellenden Körpers zu nehmen. Für die Praxis hat dieses Verfahren im allgemeinen genügt, um so mehr, als fast immer der Abstand der Röhre von der Platte 50 cm betrug.

Durch die Untersuchungen von Marie und Ribaut ist gezeigt worden, daß ein solches schematisches Verfahren theoretisch unangebracht ist.[1])

Um einen körperlich richtigen Eindruck von einem Gegenstand zu haben, ist es erforderlich, die Größe der Röhrenverschiebung in ein gewisses Verhältnis zur Dicke des zu untersuchenden Körper-

[1]) Archives d'Electricté médicale 15 juillet 1899.

teiles zu setzen. Geschieht dieses nicht, so erhalten wir entweder einen unzureichenden oder einen übertrieben stereoskopischen Effekt.

Dicke des Körperteils (d) cm	Fokusabstand (r) von der Oberfläche des Körperteils				
	20	30	40	50	cm
2	4,4	9,6	16,2	—	= Röhrenverschiebung
4	2,4	5,4	8,8	13,9	
6	1,7	3,6	6,1	9,3	
8	1,4	2,8	4,1	7,3	
10	1,2	2,4	4,0	6,0	
15	—	1,8	2,9	4,3	
20	—	1,5	2,4	3,5	
25	—	1,3	2,1	3,0	
30	—	1,2	1,9	2,7	

Tabelle nach Marie und Ribaut.

Die vorstehende Tabelle gibt die nötige Anweisung für den Grad der Röhrenverschiebung. In der ersten Rubrik sind verschiedene Dicken der zu untersuchenden Körperteile in Zentimetern angegeben, in den darauffolgenden vier Abteilungen ist die Größe der Röhrenverschiebung in Zentimetern eingetragen und zwar für mehrere Fokusabstände von der Oberfläche des zu untersuchenden Körperteils.

Aus der Tabelle geht hervor, daß die Röhrenverschiebung um so bedeutender sein muß, je kleiner der Durchmesser des zu untersuchenden Körperteils, und um so geringer, je größer der letztere ist. Es ist indessen nicht erforderlich, daß man sich genau an diese Zahlen bei der Herstellung stereoskopischer Aufnahmen hält, geringe Abweichungen werden noch keine nennenswerten Fehler des Bildes bedingen. Immerhin ist es wertvoll, an der Hand dieser Tabelle einen gewissen Anhalt über die richtige Röhrenverschiebung zu haben.

Stereoskopisches Verfahren nach Albers-Schönberg.

Stereoskopisches Verfahren nach Albers-Schönberg

Es liegt nahe, daß der stereoskopische Eindruck um so schöner und lehrreicher sein wird, je schärfer die Struktur der zu untersuchenden Skelettpartie zum Vorschein kommt. Ganz besonders ist dies dann der Fall, wenn es sich um die körperliche Darstellung des Schädels, der größeren oder kleineren Gelenke, oder um die Röntgenographie von Fremdkörpern in den Extremitäten handelt.

Um die Vorzüge, welche die Kompressionsmethode gewährt, auch der Stereoskopie nutzbar zu machen, habe ich ein Kompressionsstereoskoprohr konstruiert, mit welchem man mit absoluter Sicherheit und Leichtigkeit stereoskopische Strukturbilder der Gelenke usw. herstellen kann.

Fig. 232 und 233 zeigen dieses Stereoskoprohr in Seiten- und Vorderansicht. Das Rohr (*d*) hat eine Länge von 21 cm und einen Durchmesser von 13 cm. Es ist auf dem Rahmen (*a*) in einem

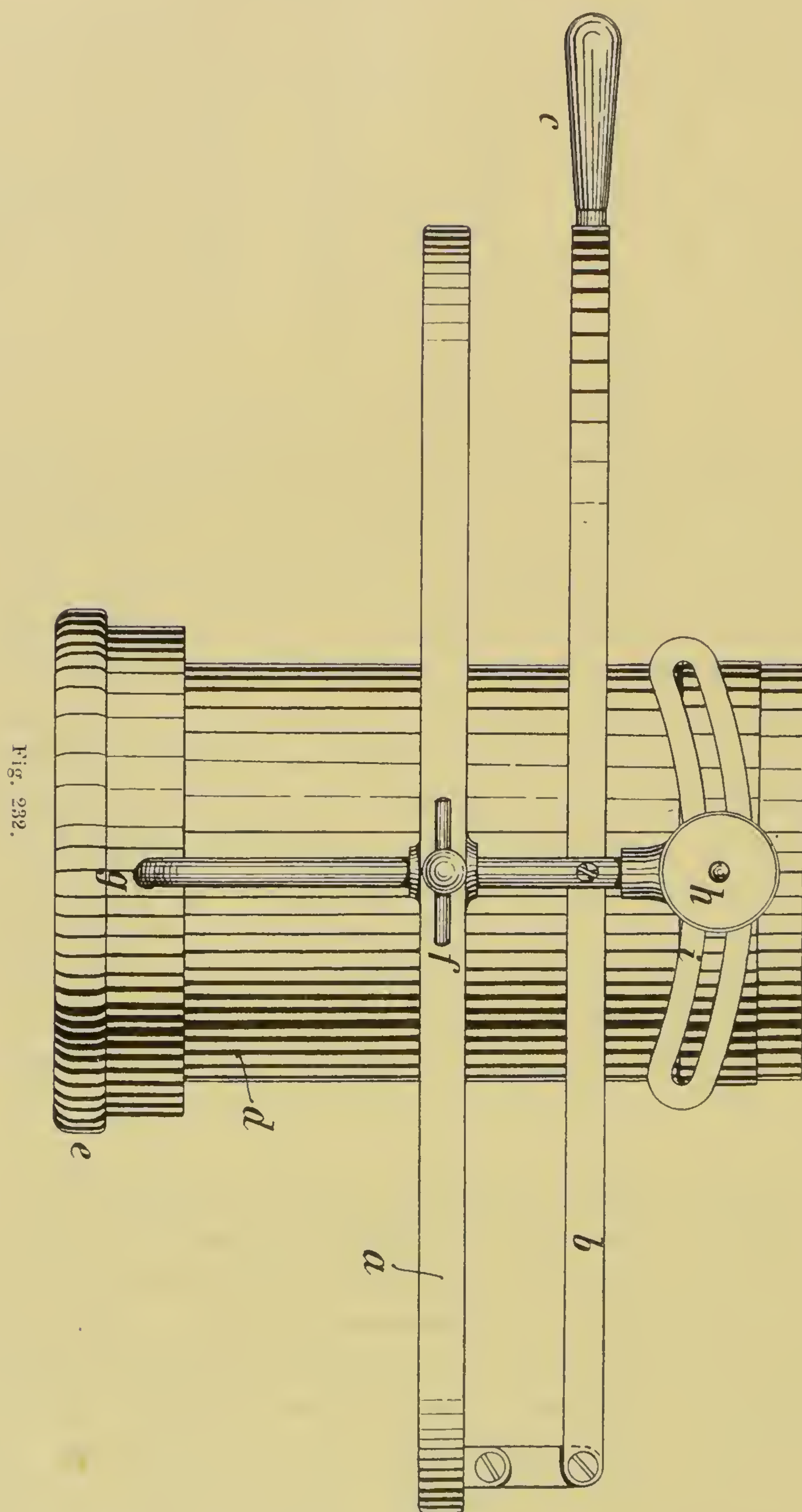


Fig. 232.

Ring verschieblich befestigt und kann durch die Hebelkonstruktion (*b*) mittes des Handgriffes (*c*) in der gleichen Weise wie das früher beschriebene Kompressionsrohr hinauf- und heruntergeschoben werden.

Bei (*f*) befindet sich eine Schraube, welche es ermöglicht, das Rohr in jeder beliebigen Stellung zu fixieren. An seinem unteren Ende ist dasselbe um seine Querachse bei (*g*) drehbar, in einem mit Hartgummi bekleideten Ring (*e*) befestigt.

Aus dieser Konstruktion geht hervor, daß das Rohr (*d*) sowohl von unten nach oben mittels der Hebelkonstruktion (*b*) senkrecht verschoben, als auch um seine Achse bei (*g*) in dem unteren Ring (*e*) gedreht werden kann. Der letztere nimmt an den Bewegungen des Rohres senkrecht nach oben und unten teil. Die Drehung des Rohres (*d*) um seine Querachse bei (*g*) kann durch eine Schraube (*h*)

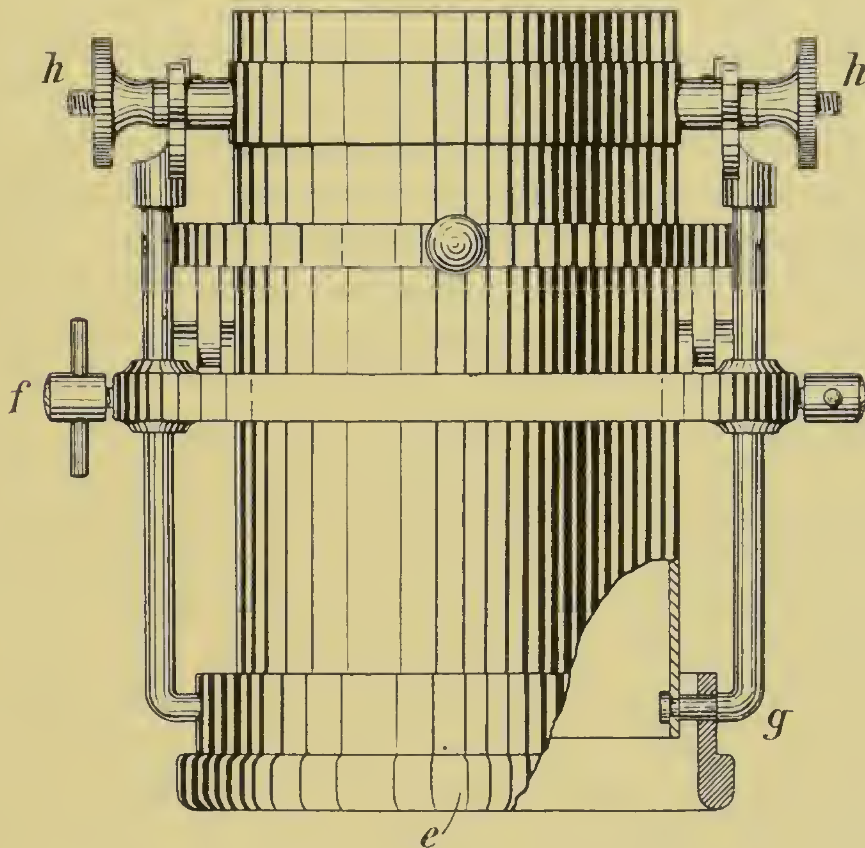


Fig. 233.

an dem gebogenen Bügel (*i*) in jeder beliebigen Stellung fixiert werden. Da dieser eine Zenti- und Millimetereinteilung trägt, so ergibt sich ohne weiteres, daß man das Rohr (*d*) in jeder beliebigen Schrägstellung feststellen kann.

Die exakte stereoskopische Aufnahme mittels des Kompressionsrohres findet nun in folgender Weise statt. Als Beispiel wähle ich eine ventrodorsale Knieaufnahme, also bei Rückenlage des Patienten. Der Durchmesser des Knies von vorn nach hinten betrage 10 cm.

Das Bein wird auf die Seite 440 abgebildete Schiene aufbandagiert und unter das Knie die Seite 635 beschriebene Wechsel-

kassette, welche eine Plattenkassette mit Platte, Format 18 × 24, enthält, geschoben. Der Rahmen des Gestells der Kompressionsblende wird geschlossen und auf denselben der Stereoskopzylinder aufgesetzt. Der letztere wird genau senkrecht über dem Knie eingestellt, so zwar, daß die Lichtachse des Zylinders durch die Mitte des Gelenkspaltes verläuft. Nunmehr wird nach Zwischenlegung eines Wattekissen das Kompressionsrohr fest auf das Knie aufgepreßt.

Aus der Tabelle von Marie und Ribaut geht hervor, daß bei einem Gegenstand von 10 cm Durchmesser die Röhrenverschiebung bei einem Fokusabstand von 30 cm 2,4, also der halbe Abstand 1,2 beträgt. Der Zylinder wird nun um 1,2 cm zunächst nach links gekippt und in dieser Stellung fixiert. Hierauf wird das die Röntgenröhre tragende Brett auf den Zylinder gesetzt und nach den für das Knie maßgebenden Expositionsvorschriften belichtet. Nach Beendigung der Aufnahme wird die Platte aus der Wechselkassette herausgezogen und eine zweite hineingeschoben. Das Kompressionsrohr wird nach der entgegengesetzten rechten Seite ebenfalls um 1,2 cm von der Mittellinie hinübergelegt und heruntergedrückt. Nunmehr erfolgt nach Aufsetzen des die Röhre tragenden Brettes die zweite Aufnahme. Wir haben also auf diese Weise, ohne die Extremität irgendwie zu rühren, zwei steroskopisch scharfe Strukturaufnahmen gemacht, und zwar unter Innehaltung der für die vorliegende Körperdicke erforderlichen Röhrenverschiebung. Genau in der gleichen Weise wird bei anderen Gliedmaßen, z. B. Hüftgelenk, Ellenbogen oder beim Kopf verfahren.

Man kann auch noch einen anderen Weg zur stereoskopischen Darstellung beschreiten. Gerdes, welcher mit Recht darauf hinweist, daß auch bei der gewöhnlichen stereoskopischen Photographie die Strahlen des Objektes auf Punkte der Platte treffen, die ein wenig in der Horizontalen gegeneinander verschoben sind, rät, den Drehpunkt des ganzen Aufnahmeapparates in die Mitte des aufzunehmenden Objektes zu verlegen und für eine Mitdrehung der photographischen Platte Sorge zu tragen, so zwar, daß die Lichtachse stets senkrecht auf der Platte steht. Der Vorschlag ist sachlich durchaus begründet. Man muß indessen bedenken, daß der Unterschied zwischen dem alten und dem Gerdeschen Drehpunkt nur ein sehr geringer ist, und daß auch die Mitdrehung der photographischen Platte nur minimale Unterschiede bewirken kann.

In der Praxis wird man auf die stereoskopische absolute Richtigkeit nicht immer Wert legen, da annähernd richtige Bilder für die meisten Zwecke vollauf genügen. In manchen Fällen ist es

ganz zweckmäßig, den stereoskopischen Eindruck durch Vergrößerung der Aufnahmedistanzen etwas zu übertreiben.

Es ist bereits bei Besprechung der verschiedenen *typischen Aufnahmestellungen* auf die Stereoskopie Rücksicht genommen worden. Im folgenden soll nun eine kurze Zusammenfassung der zweckmäßigen Lichtachseneinstellungen für die stereoskopische Darstellung der hauptsächlichsten Skelettpartien gegeben werden. Die Technik ist so einfach und die erzielten Bilder, welche für den praktischen Gebrauch völlig ausreichen, sind von derartig überzeugender Plastik, daß dagegen das vom optischen Standpunkt zu erhebende Bedenken mangelnder mathematischer Korrektheit in Fortfall kommen kann.

Im allgemeinen ist es nicht erforderlich, das zu untersuchende Gelenke usw. einmal von der rechten, das andere Mal von der linken Seite bei entsprechender Schrägstellung des Zylinders zu röntgenographieren, denn die so erhaltenen beiden Bilder fallen in ihren Projektionsverhältnissen so verschieden aus, daß sie mittels des Stereoskopes unter Umständen gar nicht oder nur mit Anstrengung zur Deckung zu bringen sind. Auch ist der Eindruck nicht so körperlich, als wenn man geringe Röhrenverschiebungen vornimmt. In den meisten Fällen, namentlich beim Kopf, den größeren Gelenken und den Nierensteinen kommt man mit einer relativ geringen Röhrenverschiebung aus. Es ist oft praktisch, die erste Aufnahme mit senkrecht zur Platte stehender, die zweite mit um 2—3 cm seitlich geneigter Lichtachse zu machen. Bei Benutzung dieser beiden Platten erhält man den besten stereoskopischen Eindruck.

Kopfaufnahmen sind namentlich beim Nachweis von Frakturen des Gesichtsschädels, ferner bei Berechnung der Tiefenlage von Fremdkörpern im Auge und bei Untersuchung der Zähne im Ober- und Unterkiefer indiziert. Kopf stereoskopisch

Aufnahme 1: mit senkrechter Lichtachse. Einstellungspunkt je nach der zu machenden Untersuchung wie im Kapitel „Kopfuntersuchungen" beschrieben. **Aufnahme 2:** Die Lichtachse verläuft infolge der hinterhauptwärts erfolgten Schrägneigung des Zylinders um $2^1/_2$ cm so, daß sie ungefähr auf denselben Einstellungspunkt gerichtet ist wie bei Aufnahme 1. Um dieses zu erreichen, ist bei großen Köpfen der Zylinder event. etwas nach der Richtung des Hinterhauptes zu verschieben. Diese letztere Verschiebung, kommt immer dann in Betracht, wenn nach Schrägstellung des Zylinders das zu untersuchende Gebiet nicht mehr vollständig in den Licht- Mundhöhle stereoskopisch

kreis der Blende hineinfällt, also namentlich bei großen Körperteilen wie Kopf, Hüftgelenk usw. Bei kleineren Körperteilen, z. B. Schulter oder Kniegelenk, genügt die Schrägstellung des Zylinders um $2^1/_2$—3 cm seitlich zur Anfertigung des zweiten Bildes, denn der Lichtkreis umfaßt auch bei der Schrägstellung den darzustellenden Körperteil vollständig, infolgedessen man von der eben beschriebenen Verschiebung des Zylinders absehen kann. Natürlich geht dann die Lichtachse nicht durch denselben Einstellungspunkt wie bei der ersten Aufnahme, was für den zu erzielenden körperlichen Eindruck, wie erwähnt, belanglos ist.

Bei der stereoskopischen Aufnahme der Mundhöhle in Seitenlage des Patienten wird ein Kork zwischen die Zähne gelegt, um ein Übereinanderbeißen der letzteren, was den plastischen Eindruck stören würde, zu verhindern. Der den Kompressionszylinder tragende Rahmen ist schräge zu kippen, so daß die Lichtachse hart unter dem der Lichtquelle zugewandten Kieferast hindurchgeht. Hierdurch bewirkt man das Auseinanderrücken der bei senkrechter Lichtachse sich deckenden Kieferteile. Auf dem stereoskopischen Bilde erscheint die dem Beschauer abgewandte Seite, z. B. des Unterkiefers, etwas tiefer stehend als die dem Beschauer zugewandte Seite, wodurch der körperliche Eindruck wesentlich vermehrt wird. Man achte besonders auf die Zähne, deren Lage zueinander man genau erkennt. Für den Oberkiefer gilt ebenso wie für den Unterkiefer die Schrägstellung der Lichtachse. Sehr plastisch hebt sich auch die Zunge im Munde ab.

Halswirbelsäule und obere Thoraxapertur stereoskopisch

Die Halswirbelsäule kommt zusammen mit der oberen Thoraxapertur dann zur stereoskopischen Darstellung, wenn es sich darum handelt, die Lungenspitzen bei event. Tuberkulose, sowie die oberen Partien der beiderseitigen Oberlappen zu überbicken. Die Bilder erstrecken sich etwa bis zum fünften Zwischenrippenraum hinunter, umfassen also ein erhebliches Stück der beiderseitigen Oberlappen. Die Aufnahme wird in Rückenlage gemacht und zwar **Aufnahme 1** wie im Kapitel „Thoraxaufnahmen“ beschrieben, bei Neigung des Zylinders brustwärts, so daß die Lichtachse durch den Kehlkopf geht, entsprechend Fig. 145. **Aufnahme 2** wird mit Schrägstellung des Stereoskopzylinders um 2 cm nach rechts oder nach links gemacht. Hierbei ist wiederum der Zylinder, da es sich um einen dicken Körperteil handelt, so weit nach rechts oder links seitlich zu verschieben, daß man in der unteren Zylinderapertur das ganze zu röntgenographierende Gebiet überblickt. Die in der weiter unten zu beschreibenden Weise in das Stereoskop eingesetzten Platten geben ein Bild, welches Hals und oberes

Thoraxdrittel etwas seitlich von der Rückseite des Patienten her darstellt. Es ist schwer, sich bei dieser Ansicht in die plastischen Verhältnisse hineinzudenken. Infolgedessen tut man gut, die Platten zu vertauschen, so daß die *rechte* nach *links* und vice versa gestellt wird. Man erhält alsdann den Anblick, als ob man von vorn in den Thorax hineinsieht. Die Konkavität der Wirbelsäule ist gegen den Beschauer zu offen. Über die Tiefenlage etwaiger Lungenherde würde man auf diese Weise ein plastisches Bild gewinnen, wenngleich die Lokalisation für operative Eingriffe nicht exakt genug sein dürfte. Handelt es sich um diese Zwecke, so ist die Aufnahme in Bauchlage des Patienten zu machen.

Schulter stereoskopisch

Bei Schulteraufnahmen wird ***Aufnahme 1*** entsprechend der typischen Stellung Nr. 1 (Fig. 171 und 172) gemacht, alsdann für ***Aufnahme 2*** der Zylinder um 2—3 cm medianwärts gekippt, so daß die Lichtachse ungefähr auf den Kopf des Humerus gerichtet ist. Diese Bilder zeigen außerordentlich schön die Konkavität der Pfanne. Ferner kommt die Stellung des Humeruskopfes zum Akromion und die räumliche Entfernung des letzteren vom Proz. Corac. zur Geltung.

Die stereoskopischen Ellbogenuntersuchungen sind bereits Seite 463 besprochen worden.

Hände stereoskopisch

Handuntersuchungen werden hauptsächlich zum Nachweis von Luxationen der Handwurzelknochen, sowie zur Bestimmung von Fremdkörpern in der Hand erforderlich sein. Da die Knochen ohnehin bei flach auf der Platte liegender Hand fast in einer Ebene liegen, so empfiehlt es sich, hier eine erheblichere Verschiebung der Röhre vorzunehmen. ***Aufnahme 1*** wird mit Schrägstellung des Stereoskopzylinders 3 cm nach rechts, ***Aufnahme 2*** mit Schrägstellung um 3 cm nach links von der Mittellinie gemacht. Die so erhaltenen Handbilder zeigen die Verschiedenheit der Lage der einzelnen Handknochen zueinander in etwas übertriebener Form. Die Stellung der Diagnose wird indessen hierdurch wesentlich erleichtert. Sehr instruktiv fallen die Bilder aus, wenn man die Haut der Hände vor der Aufnahme gründlich mit Ungt. cinereum einreibt. Die Salbe füllt dann alle Hautfalten aus, wodurch sich die letzteren auf der Platte markieren. Dieser Kunstgriff kann mit Vorteil dann benutzt werden, wenn man z. B. die Entfernung eines Fremdkörpers von der Haut bestimmen will.

Hautdarstellung mit Ungt. cinereum

Wirbelsäule stereoskopisch

Die Wirbelsäule. ***Aufnahme 1:*** mit senkrechter Lichtachse wie im Kapitel 17 beschrieben. ***Aufnahme 2:*** mit Schrägstellung des Zylinders um 2 cm entweder nach rechts oder nach links. Bei korpulenten Personen muß der Zylinder wieder auf dem Rahmen

etwas im Sinne der Schrägstellung verschoben werden, um keine Teile der Wirbelsäule abzuschneiden.

Kreuzbein stereoskopisch

Die plastische Darstellung des Kreuzbeines kommt für die Praxis nicht in Betracht, es sei denn, daß es sich um Untersuchungen von Uretersteinen handelt. Die Technik ist entsprechend der der Wirbelsäulenaufnahmen. *Aufnahme 1:* wie im Kapitel 17 beschrieben. *Aufnahme 2:* mit Neigung des Zylinders um 2 cm nach rechts oder nach links bei gleichzeitiger Verschiebung des Zylinders seitlich im Sinne der Neigung. Es ist darauf zu achten, daß bei beiden Bildern die beiderseitigen Synchondrosen mit auf die Platte kommen.

Die Stereoskopie des Knie's ist im Kapitel „Knieuntersuchungen", sowie oben bereits beschrieben.

Fuß stereoskopisch

Der Fuß in Seitenlage. *Aufnahme 1:* Einstellung der Lichtachse wie im Kapitel „Fußuntersuchungen", typische Stellung II. *Aufnahme 2* mit Neigung des Zylinders fußsohlenwärts um 2 cm.

Nierensteine stereoskopisch

Nierensteine. *Aufnahme 1:* entsprechend der ersten typischen Stellung (siehe Kapitel „Nierensteinuntersuchungen") mit schräg unter dem Rippenbogen hindurchgehender Lichtachse. *Aufnahme 2:* mit Neigung des Zylinders medianwärts um $2^1/_2$ cm. Auch hier ist wieder besonders darauf zu achten, daß der Zylinder auch noch seitlich im Sinne der Neigung verschoben werden muß, damit die Wirbelsäule, welche als hauptsächlicher Orientierungspunkt dient, nicht abgeschnitten wird.

Lange Röhrenknochen stereoskopisch

Zur Herstellung stereoskopischer Aufnahmen langer Röhrenknochen bei Splitterfrakturen usw. kann die Kastenblende (Fig. 115) mit Nutzen zur Verwendung kommen. Handelt es sich z. B. um eine Fraktur in der Mitte der Tibia und Fibula, so wird die Extremität auf der beschriebenen Holzschiene, nach vorheriger Unterlage einer Wechselkassette, gelagert. Die Kastenblende wird senkrecht über der Frakturstelle eingestellt. Nach leichter Kompression wird nunmehr *Aufnahme 1* gemacht. Hierauf wird zur Herstellung von *Aufnahme 2* der Blendenrahmen durch einseitiges Höherstellen der Stativsäulen schräg gestellt, so daß die durch die Mitte der schrägstehenden Kastenblende verlaufende Lichtachse in einem, je nach der Dicke der Extremität zu wählenden Winkel, zur Platte gerichtet ist. Die so erhaltenen Bilder geben einen vorzüglich plastischen Eindruck von der Stellung der Bruchenden resp. der einzelnen Bruchfragmente zueinander. Sie sind bei Schwerverletzten (z. B. bei komplizierten Frakturen), welche nicht auf die Seite ge-

legt werden können, ein vollwertiger Ersatz für die, in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen zu machenden Aufnahmen.

Darm stereoskopisch

Bei den Stereo-Darmaufnahmen ändert sich der Einstellungspunkt je nach dem Sitz der darzustellenden Partie. Ein gutes Beispiel für den Wert solcher Aufnahmen ist der von Lang publizierte Fall des stereoskopischen Nachweises einer Verengerung des Coecum[1]). Die Bilder sind aus der Publikation herauszuschneiden und mittels eines sog. amerikanischen Stereoskops zu betrachten.

Über Stereo-Herz- und Lungenaufnahmen siehe Anfang dieses Kapitels.

Einsetzen der fertigen Negative in das Stereoskop

Nach Fertigstellung der beiden stereoskopischen Bilder werden diese in den für sie bestimmten Rahmen des Bartholdyschen Stereoskops so eingesetzt, daß die Schicht der Platte dem Beschauer zugewandt ist. Die stereoskopischen Bilder erscheinen alsdann *seitenverkehrt.* Bei Aufnahme der linken Schulter sieht man im Stereoskop die rechte und umgekehrt. Will man die Bilder *seitenrichtig* sehen, so wendet man die Glasseiten dem Beschauer zu, was indessen den Nachteil hat, daß störende Lichtreflexe hervorgerufen werden können. Es ist nicht gleichgültig, welche Platte rechts, und welche links vom Beschauer sich im Rahmen befindet, da man je nachdem den Körperteil von der Vorder- oder Rückseite des Patienten sieht. Aufnahmen, welche man von der Rückseite des Körpers angefertigt hat, wie z. B. das Schultergelenk, müssen im Stereoskop so gesehen werden, als ob man dem Patienten auf den Rücken sieht. Bei richtiger Einstellung der Platten ist dieses auch der Fall. Vertauscht man dieselben, so sieht man in dem herangezogenen Beispiel von *vorn* auf das Schultergelenk, was durchaus plastisch ist, aber der Wirklichkeit nicht entspricht. Wird die Schichtseite dem Beschauer zugewendet, so müssen die Platten seitlich vertauscht werden, so daß diejenige, welche bei Rechtsneigung des Zylinders angefertigt wurde, in die linke Hälfte des Stereoskops, und die Platte, welche bei Linksneigung des Zylinders gemacht ist, in die rechte Hälfte des Stereoskops gesetzt wird. Sehr wichtig ist es, was übrigens durch die Anwendung der beschriebenen Wechselkassetten erreicht wird, daß die Bilder auf jeder der beiden Platten sich an korrespondierenden Höhepunkten befinden. Ist z. B. das eine Bild dem oberen Rande der Platte etwas näher gerückt als das andere, so kann man die Aufnahmen im Stereoskop nicht zur Deckung bringen.

---

[1]) Fortschritte a. d. G. d. R.-Str. XII, S. 106.

Man hilft sich dann so, daß man die beiden Platten derart aufeinander legt, daß die Aufnahmen sich decken und nun mittels eines Diamanten diejenige Platte beschneidet, welche nach unten die andere überragt. Setzt man hierauf die Platte wieder in das Stereoskop, so stehen die Bilder genau in gleicher Höhe und können leicht zur Deckung gebracht werden. Die beschnittene Platte ist nun aber nach oben zu kurz geworden, was man durch Überkleben mit einem Stück schwarzen Papier leicht verdecken kann.

Alle fertig gestellten Negative, auch die nicht für stereoskopische Zwecke gemachten, müssen mit schwarzer Papiermaske umrändert werden. Dies hat den Zweck, das störende Nebenlicht, welches durch die nicht belichteten glasklaren Teile der Platte hindurchfällt, auszuschalten. Die Überklebung wird in der Weise vorgenommen, daß man aus einem Stück schwarzen Papier, welches genau die Größe der Platte hat, einen Kreis herausschneidet, dessen Durchmesser gleich dem des Belichtungskreises ist.

Was die Entwicklung der stereoskopischen Negative anbelangt, so ist die Aufnahme auf zwei verschiedenen Platten schon deswegen vorzuziehen, weil wir in der Lage sind, durch genaue Kontrollierung der Entwicklung etwaige Verschiedenheiten in der Exposition auszugleichen, denn es ist oft sehr schwer, schnell hintereinander zwei Aufnahmen so zu machen, daß sie genau den gleichen Expositionsgrad erhalten. Befinden sich nun beide Aufnahmen auf derselben Platte, so kommen natürlich diese Expositionsunterschiede, da die Entwicklung die gleiche ist, um so deutlicher zu Gesicht.

Fremdkörper

Bei der Fremdkörperuntersuchung kann die Stereoskopie, wie schon erwähnt, in fast allen Fällen mit Erfolg zur Anwendung kommen. Handelt es sich um einen Metallsplitter im Auge, so wird ein Metallreifen in die Orbita monokelartig eingeklemmt. Aus der Stellung des auf der Platte erscheinenden Metallreifens zum Fremdkörper läßt sich dann ohne weiteres über die Tiefendimension, in welcher sich der Splitter befindet, etwas aussagen. Es ist sehr wichtig, durch die Untersuchung mittels der stereoskopischen Aufnahme eines Fremdkörpers im Auge die Längsachse desselben festzustellen, da die Extraktion mit dem großen Magneten natürlich eine für die Erhaltung des Auges wesentlich günstigere ist, wenn man über die Richtung, in welcher der Splitter liegt, genau orientiert ist. Extraktionen mit den Magneten sollten nie ohne vorherige Röntgenuntersuchung gemacht werden. Es ist die Anbringung eines als Marke dienenden Metallreifens

deswegen erforderlich, weil die Orientierung am Gesichtsschädel infolge der vielen übereinander- und durcheinanderlaufenden Knochenschatten eine sehr schwierige ist. Anders ist es bei stereoskopischen Aufnahmen von Projektilen im Schädelinnern. Hier können wir auf die Anbringung eines als Marke dienenden Metallkörpers meist verzichten, da Orientierungspunkte genug durch die einzelnen bekannten Knochenteile gegeben sind. Ein gutes Schädelbild, welches die Sella turcica, das Felsenbein, sowie die Gefäßfurchen im Innern der Schädeldecke zeigt, genügt, um Anhaltspunkte für die Bestimmung des zu suchenden Fremdkörpers zu schaffen. Am schwierigsten wird die stereoskopische Aufnahme bei Fremdkörpern innerhalb des Beckens Erwachsener sein, da hier Übersichtsbilder nötig sind, welche, wie an anderer Stelle bereits auseinandergesetzt, nur selten mit der nötigen Klarheit zu erzielen sind. Gerade dieser Mangel an Bildschärfe erschwert die Stereoskopie außerordentlich. Wenn der Nutzen der Stereoskopie für die Fremdkörperbestimmung durchaus nicht in Abrede gestellt werden soll, so ist doch besonders hervorzuheben, daß die Lokalisation nur eine approximative und genaue anatomische Kenntnisse voraussetzende ist.

Die Versuche, Fremdkörper im menschlichen Körper mit Genauigkeit zu lokalisieren und dadurch dem Operateur die Möglichkeit des schnellen Auffindens derselben zu geben, hat seit einer Reihe von Jahren die Röntgentechnik beschäftigt. Es sind weit über achtzig verschiedene Methoden angegeben worden, welche alle diesem Zwecke dienen sollen. Apparate, darunter recht kostspielige, sind erfunden, um die Lage eines Fremdkörpers festzustellen. Diese Methoden leiden aber alle an einer mehr oder weniger großen Schwerfälligkeit, und sind häufig mit komplizierten mathematischen Berechnungen verbunden, Eigenschaften, welche sie nicht geeignet machen, in der täglichen Praxis eine hervorragende Stelle einzunehmen. Ganz besonders wird ihre Anwendung aber auch dadurch erschwert, daß die Merkpunkte, welche zur Bestimmung des Fremdkörpers dienen, sich auf der Oberfläche der Haut befinden, was den Übelstand im Gefolge hat, daß bei einer Operation, bei welcher die Haut und das Unterhautzellgewebe durchschnitten werden, auch die Hautpunkte ihre Lage verändern und infolgedessen nicht mehr als genaue Orientierungsmarken dienen können. Dem Chirurgen, welcher den Fremdkörper operativ entfernen soll, wird überdies das Arbeiten nach l e d i g l i c h mathematisch bestimmten Punkten wenig angenehm sein, für ihn ist das körperliche Sehen das wich-

tigste, da er vermöge seiner anatomischen Kenntnisse sich sehr viel leichter ein Bild von der Lage eines Fremdkörpers bilden kann, wenn er imstande ist, die Situation desselben zu bekannten Skelett- und Weichteilen in Beziehung zu bringen.

Läßt sich der Fremdkörper auf dem Leuchtschirm erkennen, so ist die genaue Bestimmung seiner Lage verhältnismäßig leicht. Wir können dann eine einfache geometrische Konstruktion nicht umgehen und verfahren am zweckmäßigsten nach der von Moritz angegebenen Methode, welche im folgenden geschildert werden soll.

Fremdkörperlokalisation mittels Orthoröntgenograph.

Fremdkörperlokalisation mittels Orthoröntgenograph a) nach Moritz

Als Instrument dient der Moritzsche oder einer der anderen oben beschriebenen Orthoröntgenographen.

Wir nehmen an, daß es sich um die Lokalisation eines Projektils innerhalb der Brusthöhle handelt, ein Fall, welcher jedem Praktiker wohl schon vorgekommen ist und namentlich dann eine große Bedeutung hat, wenn es sich um die Entscheidung der Frage handelt, ob der Sitz des Geschosses irgendwelche nachteiligen Folgen bei dem Patienten haben kann oder nicht.

Es kommen oft Fälle vor, in denen Entschädigungsansprüche für Schußverletzungen, welche viele Jahre zurückliegen, erhoben werden, so namentlich von Invaliden aus den Kriegsjahren 1870/71. Daß ein Projektil im Thorax vorhanden ist, ergibt in vielen Fällen die einfache Beobachtung auf dem Leuchtschirm, ob aber dasselbe imstande ist, die Beschwerden des Patienten zu erklären, kann nur dann entschieden werden, wenn es gelingt, das Geschoß genau zu lokalisieren.

Es wird nun in folgender Weise verfahren. Der Kranke legt sich auf den Moritzschen Untersuchungstisch in Rückenlage. Mittels des Leuchtschirms, der in seiner Mitte eine Durchbohrung trägt, wird der senkrechte Röntgenstrahl so eingestellt, daß er durch den Fremdkörper geht. Der gefundene Punkt wird auf der Brusthaut des Patienten durch einen Farbpunkt fixiert. Wir wissen also, daß der Fremdkörper sich bei Rückenlage des Patienten genau senkrecht unterhalb dieser Farbmarke befinden muß. Somit ist eine Richtung, in welcher das Projektil zu suchen ist, bestimmt. Die nächste Aufgabe besteht darin, festzustellen, in welcher Tiefe der Fremdkörper auf dieser Senkrechten unterhalb der Körperoberfläche liegt. Wir verschieben die Röhre beispielsweise um 16 cm nach rechts, wie aus Fig. 234 zu ersehen ist. Während bei der ersten Stellung der Antikathode in Punkt A der senkrechte Röntgenstrahl AA' den Fremdkörper F auf dem

Leuchtschirm bei Punkt A' markiert, wird nunmehr bei seitlicher Verschiebung des Rohres um 16 cm nach rechts bis Punkt B, der Fremdkörper F auf dem Leuchtschirm nach links bis Punkt B' verschoben werden. Die Entfernung $A' B'$ messen wir mittels des Zentimetermaßes und konstatieren, daß dieselbe im vorliegenden Falle 11 cm beträgt. Wir haben nun die Aufgabe, zu berechnen, wie groß in dem Dreieck $A' B' F$ die Seite $A' F$ ist, letztere bezeichnen wir mit x. Da $A' B' = 11$ cm und $A B = 16$ cm und

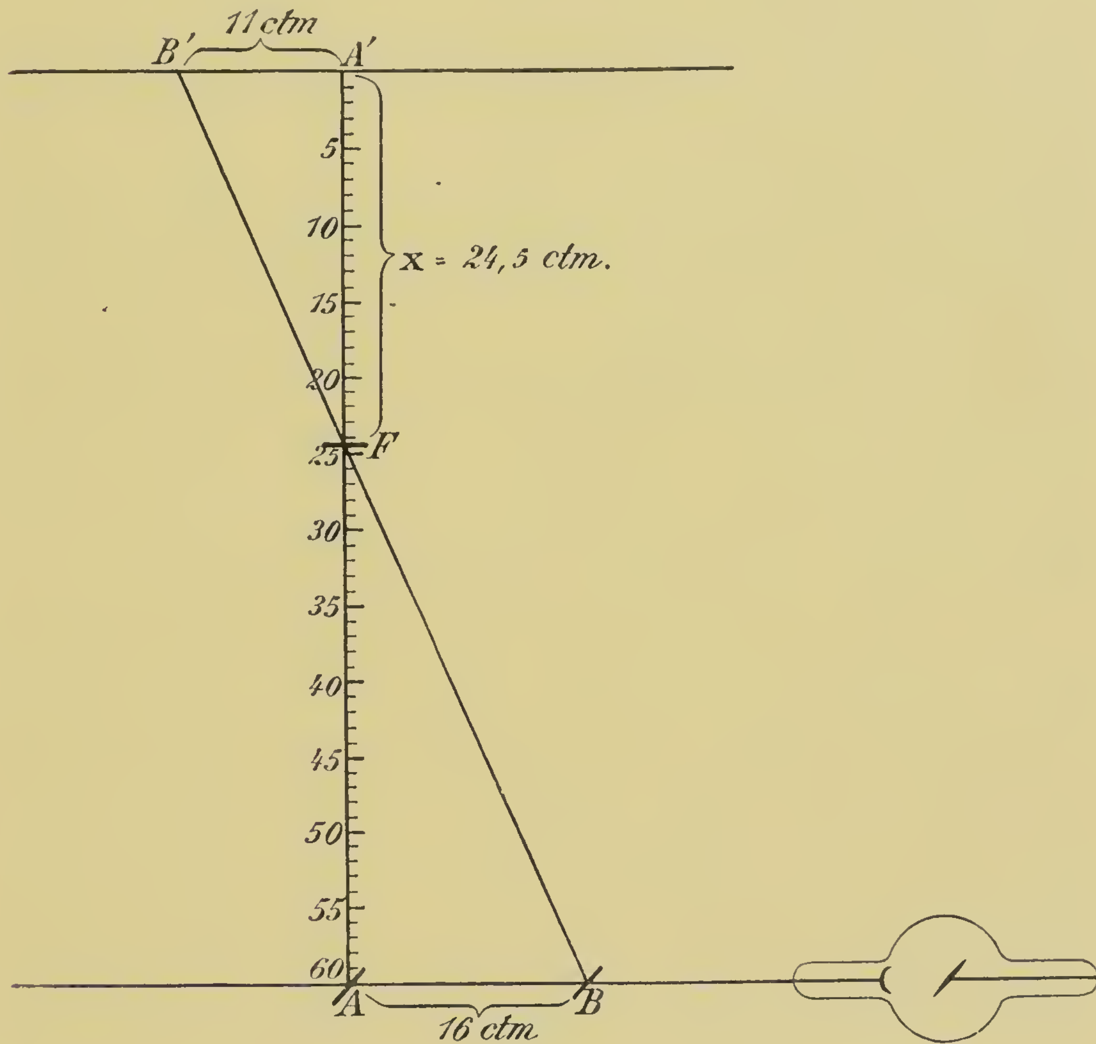


Fig. 234.

Erklärung der Figur 234.

Die untere horizontale Linie, an welcher eine Röntgenröhre schematisch angezeichnet worden ist, stellt die Ebene dar, in welcher die Antikathode horizontal verschoben wird. Die obere horizontale Linie entspricht der oberen Fläche des Leuchtschirms. Die Entfernung zwischen diesen beiden Parallelen, d. h. von der Fläche des Leuchtschirms bis zur Antikathode, beträgt bei Anwendung der Moritzschen Orthoröntgenographen und einer Polyphosröhre 60 cm. Wird eine andere Röhre genommen, so ändert sich diese Entfernung und muß demnach in der Berechnung sowohl wie in der Konstruktion eine Korrektur eintreten. F = Fremdkörper.

beim Moritzschen Orthoröntgenographen die Entfernung $AA' =$ 60 cm ist, so ergibt sich die Gleichung:

$$\frac{11}{x} = \frac{16}{60-x}$$
$$16\,x = 660-11\,x$$
$$27\,x = 660$$
$$x = 24{,}5 \text{ cm.}$$

Wir haben somit die Länge von x bestimmt und festgestellt, wie tief der Fremdkörper unter dem zuerst gefundenen Punkt A_1 liegt. Es sind nun noch einige Zentimeter von x in Abrechnung zu bringen, welche der Entfernung von der Brust bis zur Oberfläche des Leuchtschirms entsprechen. Im vorliegenden Falle nehmen wir hierfür 2 cm an. Wir können also sagen, daß der Operateur, wenn er senkrecht unter der zuerst angegebenen Marke in die Tiefe gehen würde, 22,5 cm unter derselben auf den Fremdkörper stoßen müßte. Handelt es sich um einen operativen, oder um einen Fall, der begutachtet werden soll, so ist die richtige Beurteilung der Tiefe von Wichtigkeit, um an der Hand der topographisch-anatomischen Kenntnisse zu entscheiden, ob in dieser Tiefe der Fremdkörper irgendein Organ derartig beeinflussen kann, daß die Klagen des Patienten gerechtfertigt erscheinen.

Man kann diese Lokalisation auch so vornehmen, daß man, wie in der Figur 234 angegeben, die Linie $A'A$ in 60 gleiche Teile einteilt und nun die Entfernungen AB und $A'B'$, welche experimentell gefunden worden sind, auf der oberen resp. unteren horizontalen Linie einträgt, sodann B' mit B verbindet und feststellt, durch welchen Teilstrich der Linie $A'A$ die Linie $B'B$ hindurchgeht. Der so gefundene Teilstrich gibt die Tiefe des Fremdkörpers in Zentimetern an. Diese Art der Lokalisation, welche in wenigen Minuten zu machen ist und exakte Resultate ergibt, kann bei den auf dem Leuchtschirm sichtbaren Fremdkörpern im Schädel, im Halse, in der Brust, eventuell auch in der Bauchhöhle, sowie in sämtlichen Extremitäten angewendet werden. Die Voraussetzung, daß der Fremdkörper auf dem Schirm sichtbar ist, wird indessen nicht in allen Fällen zutreffen. Hier sind wir dann auf Methoden angewiesen, welche die röntgenographische Technik als Grundlage haben. Außerdem gibt es Fälle, wie z. B. bei abgebrochenen Nadeln, Eisenplittern usw., in der Hand oder in den Fingern, eventuell auch in der Fußsohle oder in den Zehen, bei welchen die Moritzsche Methode wegen der Dünne der Körperteile nicht gut anzuwenden ist. Es müßte sich indessen meines Erachtens auf Grund dieses Prinzips ein kleiner, sehr fein nach

Millimetern arbeitender Apparat konstruieren lassen, mit welchem man auch an diesen Partien in genannter Weise die Lokalisation vornehmen könnte. An der Hand, den Fingern und ähnlichen Körperteilen helfen wir uns durch andere Methoden, welche ebenfalls gute Resultate geben.

b) nach Levy-Dorn

Ein Beispiel, welches die Fremdkörperlokalisation unter Anwendung der Skalen T und T_1, welche ein Bestandteil des Levy-Dornschen Orthoröntgenographen sind, zeigt, möge im folgenden angeführt werden.

Es handelt sich um die Feststellung der Tiefenlage eines Fremdkörpers. Hierzu benutzt man die Formel

$$E = \frac{b}{b+r} \cdot h,$$

worin E die Entfernung des Fremdkörpers, h die des Antikathodenspiegels von der Fluoreszenzschicht des Schirmes, r die Verschiebung

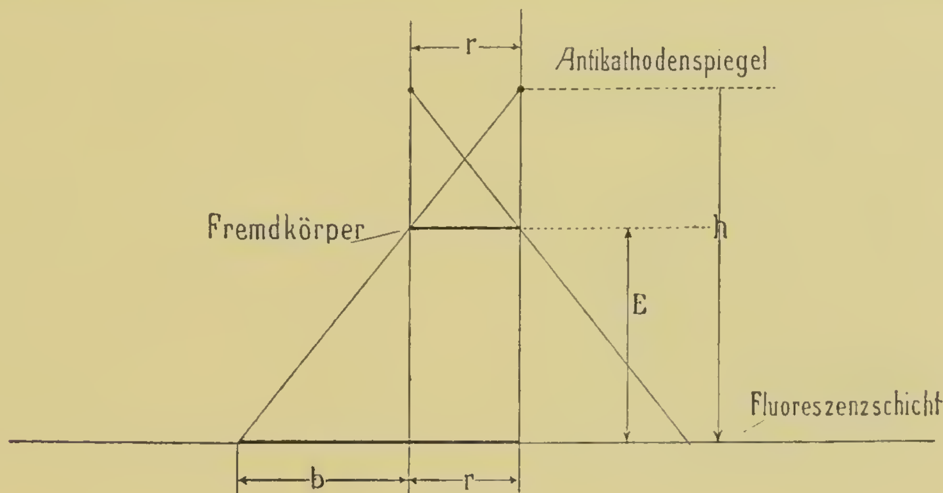


Fig. 235.

der Röntgenröhre, und b die in Betracht kommende Verschiebung des Fremdkörperbildes bedeuten (siehe Fig. 235). r wird entweder durch den Abstand der auf die Zeichentafel projizierten Lotpunkte ohne weiteres bestimmt, oder, wenn man auf die Haut projiziert, durch Benutzung der Skalen erfahren. Bei Schräglage des Körpers muß man dann die mit Hilfe der Skalen gefundenen Maße auf zwei rechtwinkelige Koordinaten, etwa an die Seiten eines Papierblattes übertragen und die $= r$ zu setzende Diagonale ausmessen. $b + r$ ist mittels Maßstabes direkt auf dem Fluoreszenzschirm abzumessen.

Fremdkörperlokalisationen ohne Orthoröntgenographen. Operationstische.

Fremdkörperlokalisation nach Holzknecht und v. Karajan

Handelt es sich um längliche Fremdkörper, Nadeln usw., so bevorzuge ich ein sehr zweckmäßiges Verfahren, welches von Holzknecht und v. Karajan angegeben worden ist. Man bringt die

Hand resp. den Finger in eine derartige Stellung, daß man den Fremdkörper in seiner Längsachse (*ab*) sieht (Fig. 236), so zwar, daß er auf dem Schirm punktförmig oder in seiner kürzesten Dimension erscheint. Mittels eines Schreibstiftes wird dieser Punkt sowohl vorne wie hinten auf der Haut, z. B. des Fingers, markiert. Eine Drehung der Hand resp. des Fingers um 90° zeigt uns dann den Fremdkörper in seiner Längsausdehnung parallal dem Schirm. Es wird nun ein Strich, entsprechend dem gesehenen Schatten, auf der Haut angebracht. Eine Senkrechte auf diesem Strich *JJ'* gibt die Inzisionsrichtung an. Das Verfahren ist indessen nur dann mit Vorteil anzuwenden, wenn es sich um längliche Fremdkörper handelt.

Verfahren nach Stechow und Perthes, Fremdkörperpunktion

Eine sehr gute Methode, welche ich besonders bei der Hand und den Fingern empfehlen möchte, ist die von Stechow und Perthes beschriebene. Man verfährt in der Art, daß eine aseptische Nadel unter Beobachtung auf dem Leuchtschirm durch die Haut direkt auf den Fremdkörper eingestochen wird. Durch Drehungen des Körperteils stellt man fest, ob die Nadel wirklich in Berührung mit dem Fremdkörper gekommen ist. Nunmehr genügt es, durch einen Schnitt entlang der Nadel auf den letzteren einzugehen. Es hat diese Methode indessen zur Voraussetzung daß man sofort die Operation, d. h. die Herausnahme des Fremdkörpers, an die Untersuchung anschließen kann. Hierzu empfiehlt sich unter anderen das vorstehend beschriebene Holzknechtsche Trochoskop für Operationen im direkten Röntgenlicht, sowie der von dem gleichen Autor angegebene kleine Operationstisch.[1]) Auch von Perthes[2]) ist ein einfacher, für kleine Operationen aber völlig ausreichender Tisch angegeben worden.

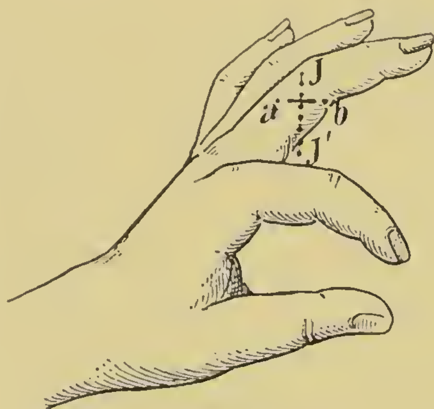


Fig. 236.

Perthes beschreibt denselben folgendermaßen:

Operationstisch mit Röntgenlicht nach Perthes

Unter der Tischplatte des Operationstisches befindet sich die Röntgenröhre, während über derselben in einem Scharnier beweglich der Fluoreszenzschirm herauf- und heruntergeklappt werden kann (vgl. Fig. 237). Unten am Tische sind drei Pedale angebracht, welche von den Füßen des Operateurs bedient werden. Die Bewegung des Pedals 1 hebt oder senkt den Fluoreszenzschirm, ein Druck auf Pedal 2 schaltet das elektrische Licht der Operationslampe aus (bezw. ein), während ein Druck auf Pedal 3 den Primärstrom des Induktors schließt, so daß die Röntgenröhre in Funktion tritt.

---

[1]) *Fortschritte a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, Bd. VIII, Heft 5 Seite 344.*
[2]) *Centralblatt für Chirurgie. Nr. 18. 1904.*

Für den Gebrauch z. B. bei der Extraktion einer im Kleinfingerballen abgebrochenen Nähnadel sitzt die Patientin, deren vorher desinfizierte Hand nach der von Braun angegebenen Methode in der nötigen Ausdehung anästhesiert und deren Arm nach v. Esmarch blutleer gemacht ist, neben dem Operateur am Tisch. Ein Assistent findet auf der anderen Seite des Operateurs genügend Raum. Die Tischplatte trägt ebenso wie die Unterfläche des Fluoreszenzschirmes ein aseptisches Tuch. So kann der Operateur neben völliger Wahrung der Asepsis mit Leichtigkeit die Lage des Fremdkörpers bestimmen, dann bei elektrischer Beleuchtung den geeigneten Hautschnitt ausführen, nach erneutem Übergang zur Röntgendurchleuchtung den Fremdkörper fassen und ihn endlich wieder bei elektrischem Lichte extrahieren. Die Möglichkeit, in jedem beliebigen Momente einer Operation eine nur kurz dauernde Röntgendurchleuchtung auszuführen, ist der mit der Einrichtung verfolgte und erreichte Zweck.

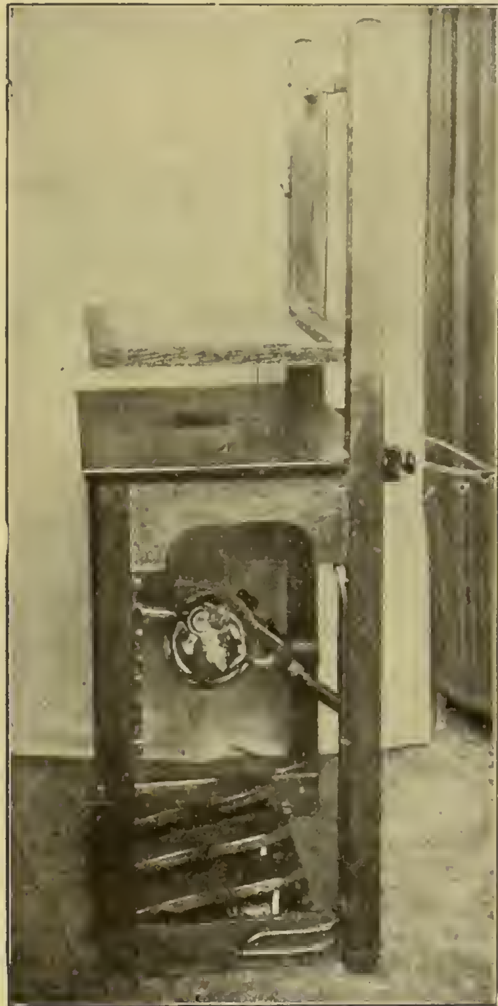


Fig. 237.

Es sei noch bemerkt, daß der untere Körperteil des Operateurs durch eine Bleiplatte vor den schädlichen Wirkungen der dicht vor ihm befindlichen Röntgenröhre sicher geschützt ist. Ebenso ist es möglich, die Hände des Operateurs durch auf dem Tisch liegende Metall- bezw. Glasplatten zu schützen, die ähnlich wie eine Blende nur den zu durchleuchtenden Teil freilassen, da der Operateur auf dem Schirme nicht seine Finger, sondern nur den vorderen Teil seiner Instrumente im Schattenbilde zu erkennen braucht.

Den gleichen Zweck wie Perthes verfolgt Grashey[1]) mit dem von ihm angegebenen Operationstisch, dessen Konstruktion insofern durchaus neu und originell ist, als der Leuchtschirm fast unmittelbar an das Objekt heran gebracht ist. Ferner gewährt die Konstruktion des Tisches die Möglichkeit, ohne Verdunkelung des Zimmers mit einem Auge das Röntgenbild, mit dem andern das Operationsfeld zu betrachten. Schließlich dient der Apparat dazu, den Fremdkörper mit dem senkrechten Röntgenstrahl einzustellen. Operationstisch mit Röntgenlicht nach Grashey

---

[1]) *Münch. med. Wochenschrift. 1904. Nr. 24.* Hergestellt von der Polyphos-Ges., München.

Die in das Stativ-Blendenkästchen *BK* eingeschobene Röhre *R* wirft das Schattenbild des auf dem Operationstisch *O* liegenden Körperteils (Hand) *K* auf den in die Tischplatte eingelassenen Leuchtschirm *L*. Das Bild wird durch den in der Dunkelkammer *D* fest angebrachten geneigten Spiegel *S* in den Tubus *T* und ins Auge des am Tisch sitzenden Operateurs geworfen. Im Mittelpunkt *M* des Leuchtschirms *L* ist ein kleines Schrotkorn befestigt; mittels des Zentrierpendels *P* wird der Brennpunkt der Antikathode auf diese Marke *M* eingestellt. Verschiebt man den Fremdkörper *F* (im Körper *K*), bis sich sein Schatten auf die Schrotmarke *M* eindeckt, so befindet er sich im senkrechten Röntgenstrahl. Bringt man den Schatten der Skalpellspitze ebenfalls mit *M* und *F* zur Deckung, so befindet man sich genau senkrecht über dem Fremdkörper. (Über die Tiefe desselben hat man sich vorher durch Drehen von *K*, ebenfalls orthoröntgenographisch, d. h. im senkrechten Röntgenstrahl, der das Bild nicht verzeichnet, orientiert.) Man schneidet senkrecht auf die Haut; trifft man nicht rasch auf den Fremdkörper, so schaltet man mittels Fußkontakt die Röhre wieder ein und blickt, ohne den Raum verdunkeln zu müssen, mit einem Auge in den Tubus. Hier sieht man dann im Röntgenlicht, wie eine Pinzette, die man in die Wunde einführt und wie man mit dem andern Auge dabei im Tageslicht verfolgen kann, sich dem Fremdkörper nähert, und schließlich sieht und fühlt man, wie das Suchinstrument den Fremdkörper berührt. Man kann das Röhrenkästchen während der eigentlichen Entbindung des gefaßten Fremdkörpers am Stativ zur Seite drehen; braucht man es nochmals, so ist es beim Zurückdrehen (durch einen Anschlag) sofort wieder über dem Schirm eingestellt. Der Schutz des Operateurs und Patienten wird durch Bleiglasfenster und Revolverblende (*B*) erreicht.

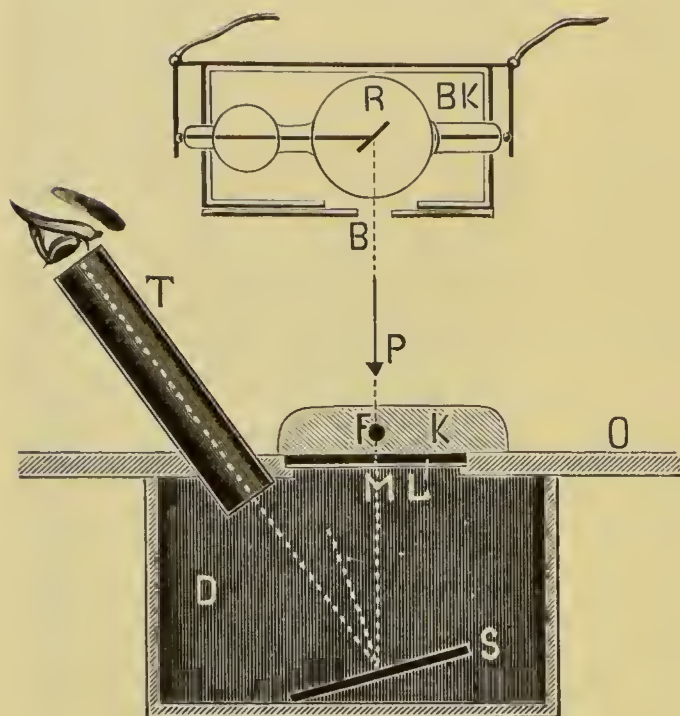


Fig. 238.

Handelt es sich um Fremdkörper in anderen Teilen, wie beispielsweise im Arm oder in der unteren Extremität, so ist die sicherste Methode immer diejenige, in zwei zueinander senkrechten Ebenen zu untersuchen. Hier genügte das Leuchtschirmverfahren nicht und man muß zur Anwendung der photographischen Platte schreiten. Man verwendet zweckmäßig die Kompressionsblende, da durch dieselbe die Lage des Richtungsstrahles, d. h. desjenigen Strahles, welcher senkrecht zur Platte steht, ohne weiteres gegeben

ist. Während bei Aufnahme ohne Kompressionsblende dieser Richtungsstrahl nicht mit Sicherheit aus dem Bilde ersehen werden kann, ist derselbe bei Platten, welche den Belichtungskreis des Zylinders zeigen, stets im Mittelpunkt dieses Kreises gelegen. Man ist also ohne weiteres bei jeder Aufnahme über den Stand des Röhrenfokus orientiert.

Die Aufnahme erfolgt derart, daß man die Extremität so auf die Kassette legt, daß möglichst der Punkt, wo der Fremdkörper vermutet wir, auf die Mitte der Platte, also in die Mitte des Be-

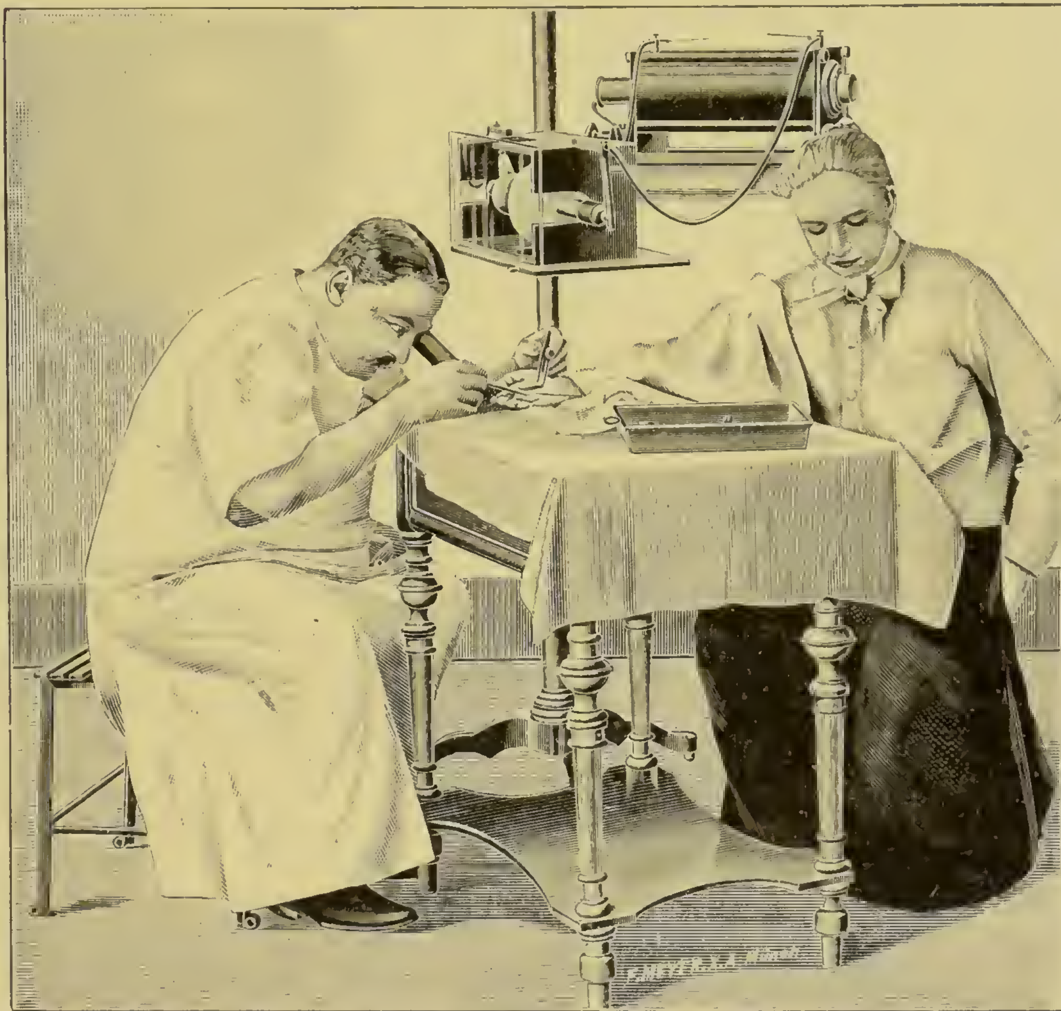


Fig. 239.

lichtungskreises kommt. Zeigt sich, daß die Lagerung falsch war, so ist die Aufnahme zu wiederholen. Durch zwei derartig gemachte Bilder ist die Lage des Fremdkörpers ohne weiteres gegeben. Man kann dieses Verfahren mit Leichtigkeit bei den Extremitäten anwenden und daher möchte ich es für diese Körperteile als das einfachste und beste empfehlen. Die übrigen Meßmethoden, welche mit komplizierten Berechnungen einhergehen, halte ich für weniger geeignet, da sie vielfach eigene Apparate, deren Handhabung schwierig zu erlernen und deren Anschaffungskosten beträchtliche

sind, zur Voraussetzung haben. Man wird in der Praxis mit dieser Methode, sobald es sich um Extremitäten handelt, meist auskommen.

Schwieriger ist die Lokalisation auf dem Leuchtschirm nicht sichtbarer Fremdkörper im Kopf, Thorax und Abdomen. Hier werden wir in vielen Fällen nicht umhin können, zu komplizierteren Methoden zu greifen. Geeignet ist für solche Fälle stets die stereoskopische Aufnahme; besser die Methoden nach Gillet oder Fürstenau. Der stereoskopische Nachweis der Fremdkörper kann an jedem Teile des menschlichen Körpers vorgenommen werden, am häufigsten wird er wohl am Kopf zur Anwendung kommen und hier wieder bei den Fremdkörpern im Auge (vgl. das Kapitel „Kopfuntersuchungen")[1]. Zur Entfernung okularer Fremdkörper ist von Fritz Fraenkel eine Technik nebst Apparatur angegeben worden.

Stereoskopisches Verfahren nach Drüner

Ein ausgezeichnetes Verfahren zur Lokalisation von Fremdkörpern wurde auf dem Röntgenkongreß 1905 in Berlin von Drüner vorgeführt.

Die Messung beruht auf demselben Prinzip wie der Zeißsche Entfernungsmesser und wird so ausgeführt, daß genau unter den gleichen Bedingungen zuerst von dem betreffenden Körperteil eine stereoskopische Röntgenaufnahme hergestellt wird und dann von einem stereometrischen Maßstab, welcher an Stelle des Körperteiles auf der Kassette angebracht wird.

Der stereometrische Maßstab besteht aus vier horizontalen Metalleisten, welche in der Höhe von 0, 5, 10 und 15 cm über der Kassette stehen und einer schräg, im Winkel von 45° aufsteigenden Leiste. Jede der Metallleisten ist mit Metallzähnen im Abstande von 1 cm besetzt. Beim aufsteigenden Maßstab sind die Zähne in einem etwas größeren Abstand so angebracht, daß jeder so viel cm von der Unterlage entfernt ist, als seine Zahl angibt. Der stereometrische Maßstab wird genau in derselben Weise stereoskopisch aufgenommen wie der Körperteil, und von den so entstandenen beiden Stereoskopnegativen werden Diapositive hergestellt. Deckt man diese Diapositive auf die Negative des Körperteiles, so erscheint im stereoskopischen Bilde der stereometrische Maßstab körperlich im Bilde des Körperteiles und gestattet eine viel exaktere Lokalisation als ohne dies.

Um noch genauer die Tiefen zu messen, bedient man sich eines Meßzirkels. Stellt man die beiden Spitzen des Zirkels auf zwei identische Punkte der beiden Stereoskopbilder, z. B. eine Kugel im Schädel, ein, so erscheint die Spitze im stereoskopischen Bilde einfach und körperlich in der Höhe der Kugel im Schädel.

Da die Parallaxe aller Punkte in der gleichen Entfernungsebene bei parallelstehenden optischen Achsen die gleiche ist, so kann man die so mit

---

[1]) Eine ausführliche Zusammenstellung über die geometrischen Methoden zur Bestimmung von Fremdkörpern findet sich bei *Schjerning, „Schußverletzungen" Seite 30,* Lucas Gräfe & Sillem, Hamburg. Es ist unmöglich, im Rahmen dieser Darstellung auf die Methoden näher einzugehen.

dem Zirkel eingestellte Parallaxe auf den aufsteigenden Maßstab übertragen und sehen, welcher Zahn im stereoskopischen Bilde in gleicher Höhe mit der Kugel liegt. Man gewinnt dadurch ein Maß für die Entfernung der Kugel von der Unterlage, d. h. von der, der Kassette aufliegenden Seite des Kopfes. Ebenso mißt man die Distanz von der, dem Beschauer zugekehrten, Seite des Kopfes, wenn man an derselben Metallmarken angebracht hat und ihre Parallaxe auf die gleiche Weise bestimmt.

Nachdem man so die Lage des Fremdkörpers innerhalb des stereometrischen Maßstabes gemessen hat, legt man durch den gefundenen Punkt innerhalb des Maßstabes andere Maßstäbe nach jeder beliebigen Stelle der Oberfläche des Kopfes und röntgenographiert dann wie vorher den so veränderten, vervollständigten Maßstab stereoskopisch.

Deckt man die so gewonnenen Diapositive auf das erste Negativ, so gehen im stereoskopischen Bilde die Maßstäbe durch das Projektil und nach den zu messenden Stellen der Schädeloberfläche. Man liest an den Maßstäben die Entfernungen direkt ab. Z. B. die Kugel ist 5 cm von der Nasenspitze, 7 cm vom Einschuß; der Schußkanal bildet mit der Horizontalebene einen Winkel von 45° und mit der Frontalebene einen solchen von 10°.

Die Messung kann natürlich an allen durch das Röntgenbild sichtbar zu machenden Körperteilen vorgenommen werden.

An Thoraxbildern mißt man die Breite des Herzschattens oder die der Wirbelkörper objektiv. An Beckenaufnahmen den Abstand der Spinae ischiadicae und den des Promontoriums von der Symphysis usw.

Die hierzu nötigen Apparate sind:

1. ein großes Spiegelstereoskop nach dem Prinzip des Helmholtzschen Telestereoskop; dasselbe gestattet auch Thoraxaufnahmen, also Platten in Größe von 40 : 50 cm unmittelbar stereoskopisch zu betrachten.

2. Kassetten und Gestelle, welche, ohne den Körperteil zu bewegen, eine exakte Verschiebung der Röhre und das Auswechseln der Plattenkassetten bei zahlreichen, einander folgenden Aufnahmen, auch nach größeren Pausen gestatten.

Das Stereometer nach Gillet.

Der Gebrauch des Röntgenstereometers beruht auf folgender Überlegung: Macht man von zwei Punkten (Fig. 240 e^1 und e^2 aus, welche gleichen Antikathodenplattenabstand d haben und deren gegenseitiger Abstand nicht zu klein bemessen sei, je eine Röntgenaufnahme bei unverändert beibehaltener Lage des Patienten auf eine einzige gleichfalls unverrückt liegenbleibende Platte, so erscheint der Fremdkörper auf der letzteren verdoppelt (f^1 und f^2).

Markiert man die entsprechende Punkte eines solchen doppelten Schattens z. B. des Fremdkörpers und zieht von diesen gerade Linien nach den Punkten, welche die zugehörigen Röhrenbrennpunkte bei der Aufnahme innegehabt haben, so schneiden sich diese Linien in einem Punkte, welcher der Lage des Fremdkörpers entspricht.

Anstatt nun, was umständlich wäre, solche Linien zu ziehen, kann man auch an der Stelle der Röhrenbrennpunkte nach Entfernung der Röhre einfache Diopter (Fig. 241 a a^1 anbringen und durch Visieren von diesen aus den Schnittpunkt der genannten Linien, d. h. also den Ort des Fremdkörpers aufsuchen; man stellt zu diesem Zweck einen beweglichen Punkt so zwischen Platte und Diopter ein, daß er den zugehörigen Fremdkörperschatten für jede der beiden Diopterstellungen dem durchblickenden Auge deckt.

Stereometer Gillet

Damit nun die Diopter in die den Röhrenbrennpunkten entsprechende Lage gebracht werden können, muß vor der Aufnahme mittels des Zentrifixators oder auf eine andere Weise der Einfallspunkt des senkrechten Röntgenstrahles für jede der beiden Röhrenstellungen auf der Kassette markiert und mit je einer kleinen Bleimarke versehen werden; ferner muß der Antikathodenplattenabstand, welcher sich zwischen 30 und 60 cm bewegen kann, sowie der Abstand der beiden Röhrenbrennpunkte, welcher seinerseits einen Spielraum von 65 bis 130 mm haben kann, gemessen werden.

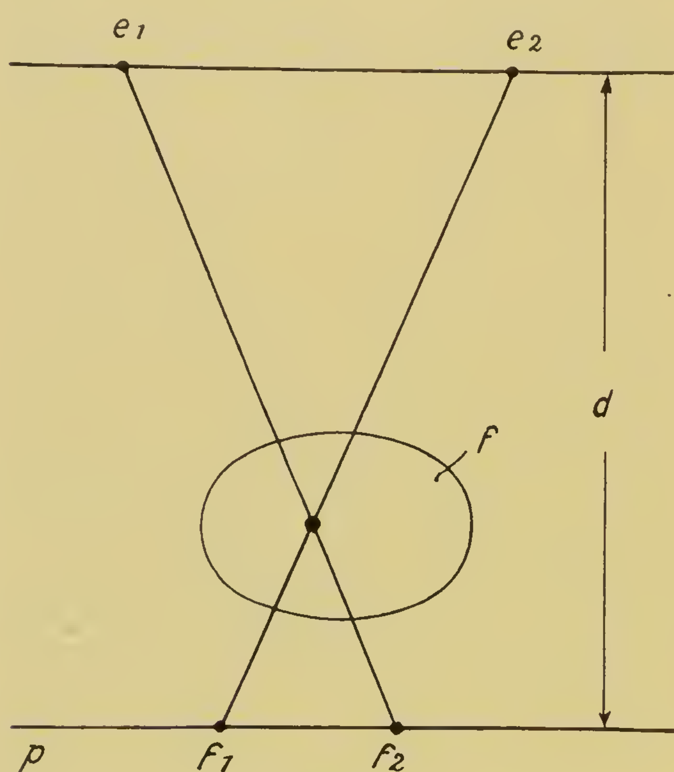


Fig. 240.

Die so hergerichtete und fertiggestellte Platte wird auf dem Stereometer auf der hinteren Schiene vermittels zweier verschiebbaren Klammern so befestigt, daß die Schattenpunkte der Einfallslote der senkrechten Strahlen mit den beiden dort befindlichen und auf die Millimeterzahl des seitlichen Antikathodenabstandes eingestellten Zeigerchen 0 und 0^1 sich decken. Auf die gleiche Entfernung zueinander werden auch die beiden Diopter a und a^1 durch Verschieben derselben auf dem mit einer Millimeterskala versehenen Schlitten eingestellt. Durch Auszug des letzteren in der Längsrichtung des Apparates werden zuletzt die Diopter auf den Antikathodenplattenabstand gebracht.

Man stellt nun den auf der Glasplatte g befindlichen, graduierten senkrechten Strich, welcher die Aufgabe des beweglichen Punktes zu erfüllen hat, durch Drehen der am linken Auszugrohr und der

an den Trägerenden der Glasplatte befindlichen Schrauben so ein, daß derselbe in der oben beschriebenen Weise den Fremdkörperschatten deckt. Die auf der Längsschiene *m* abgelesene Millimeterzahl ergibt die sogenannte Tiefenlage des Fremdkörpers, d. h. dessen Abstand von der Röntgenplatte. Dieses Maß genügt indessen für die meisten Fälle nicht, um den Fremdkörper mit Sicherheit durch eine Operation aufzusuchen, weil man über den Ort, wo das Tiefenmaß von der Körperoberfläche nach dem Körperinnern zu projizieren ist, im unklaren ist. Um diesen Ort genau zu finden, be-

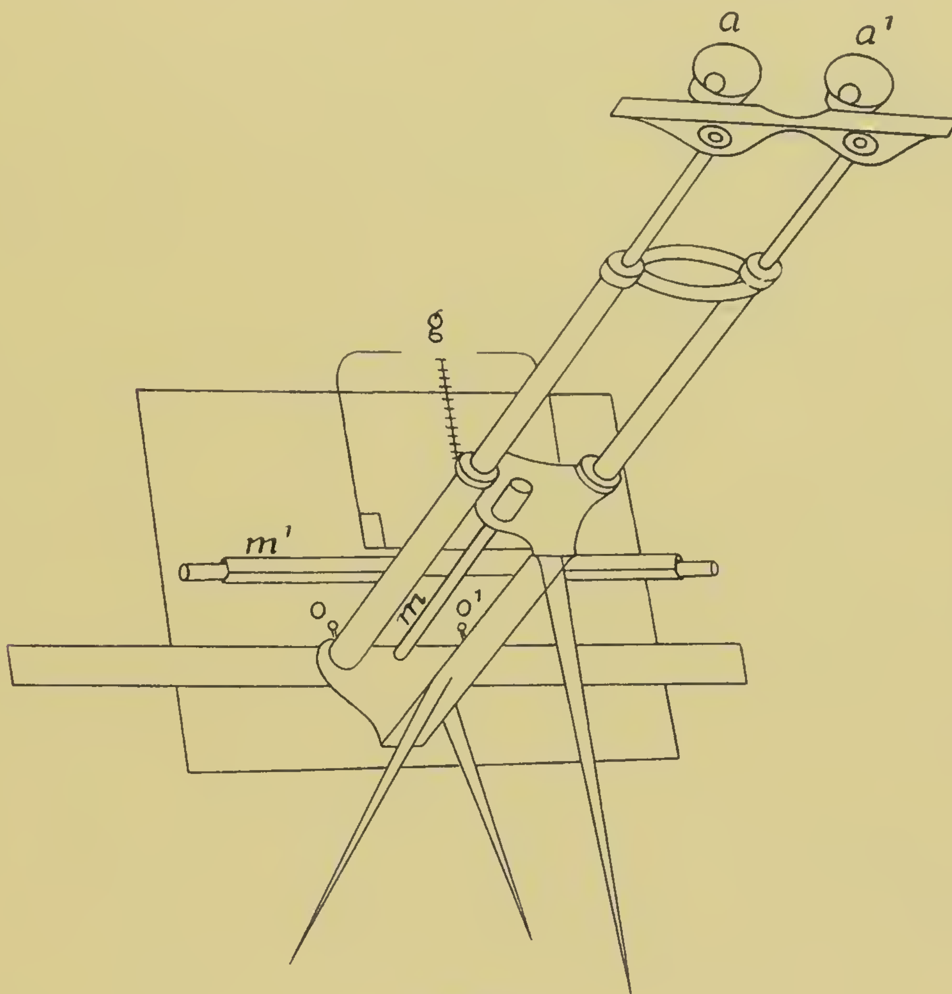


Fig. 241.

dürfen wir eines festen Punktes auf der Körperoberfläche, welcher sich sichtbar auf der Röntgenplatte bei der Aufnahme projiziert. Zu diesem Zwecke kleben wir eine kleine Bleimarke mit Heftpflaster vor der Aufnahme auf die Haut des Patienten und zwar nahe dem mutmaßlichen Ort des Fremdkörpers auf. Die Glasplatte *g* des Apparates wird nun nach Aufstellung der so aufgenommenen Röntgenplatte auf die beiden Schatten dieser Marke ebenso eingestellt, wie es für den Fremdkörper geschehen ist und die Tiefenlage der Marke auf *m* abgelesen. Gleichzeitig liest man aber auch noch die Größe der seitlichen Verschiebung der Glas-

platte *g* auf der Skala m^1 ab, ebenso auf dem graduierten Strich der Glasplatte *g* die Höhe, in welcher der visierte Schatten auf deren Skala erscheint. Diese beiden Maße sind in gleicher Weise auch bei der Einstellung auf den Fremdkörper nach Feststellung seiner Tiefenlage abzulesen. Indem man je eines der so erhaltenen nach ihrer Gleichartigkeit entsprechend der Anordnung der Maßstäbe des Instrumentes zusammengestellten drei Zahlenpaare voneinander abzieht, erhält man drei Längenmaße, welche den Abstand des Fremdkörpers von der Bleimarke nach drei zueinander senkrechten Richtungen angeben. Wenn man daher die gefundenen drei Maße in der entsprechenden Reihenfolge und Richtung von der Bleimarke aus in das Innere des Körpers projiziert, so bezeichnet der Endpunkt des dritten Maßstabes den Ort des Fremdkörpers. Das Anlegen der Maßstäbe gestaltet sich am einfachsten, wenn man sie auf einen Draht hintereinander abträgt und denselben nach den entsprechenden drei Richtungen an den Teilpunkten scharf im rechten Winkel umbiegt.

Für denjenigen, welcher im Stereoskopieren mit bloßem Auge geübt ist, wird das Einstellen der Glasplatte schneller bewerkstelligt, wenn die Röntgenaufnahme mit einer dem Pupillenabstande des Messenden entsprechenden seitlichen Röhrenverschiebung, also etwa 65 mm gemacht wird. Die auf den gleichen Abstand eingestellten Diopter gestatten alsdann das gleichzeitige Hindurchblicken mit beiden Augen, wobei der Skalenstrich der Glasplatte ohne weiteres auf das frei vor der Röntgenplatte schwebende steroskopische Bild des Fremdkörpers, bzw. der Bleimarke eingestellt werden kann. Bei Anwendung dieses Abstandes von 65 mm und getrennter Einstellung der Diopter auf die Schatten, deren korrespondierende Stellen zweckmäßig mit in die Gelatineschicht eingeritzten Kreuzchen bezeichnet werden, gelingt es auch dem Ungeübten, sich bald das stereoskopische Sehen anzueignen.

„Die Erwartungen, welche man an dieses Verfahren knüpfte, haben sich nach Gillet in jeder Weise erfüllt, indem die Ergebnisse bisher stets von einer an mathematische Präzision grenzenden Exaktheit gewesen sind. Von besonderer Beweiskraft sind die stets als schwierig geltenden Lokalisationen von Nadelsplittern in den verschiedensten Körperteilen gewesen. Die Lokalisation erstreckte sich hier immer auf die Feststellung der Lage des einen der beiden Enden des Splitters, und zwar aus selbstverständlichen Gründen des peripher gelegenen; da es sich somit um die Feststellung der Lage eines Punktes von kleinster Ausdehnung handelte, war die beste Gelegenheit gegeben, die Präzision des Verfahrens zu prüfen.

Das operative Aufsuchen des Fremdkörpers geschieht in der

Weise, daß zunächst die Oberfläche des zu inzidierenden Körperteils durch Aufpinseln von Jodtinktur steril gemacht wird; hierdurch wird eine Störung der Lage des Fremdkörpers nach erfolgter Lokalisation durch Bürsten oder Reiben usw. vermieden; aus gleichem Grunde ist darauf zu halten, daß der betreffende Körperteil keine unnötigen Bewegungen zwischen Lokalisation und Operation mehr macht.

Das nach den drei Richtungen gebogene und steril gemachte Drahtmodellchen wird mit einer Pinzette erfaßt und parallel zu den Hauptebenen des Körperteils an den äußerlich markierten Bleimarkenpunkt gehalten, am Berührungspunkt des anderen, dem Fremdkörper entsprechenden Ende des Drahtes wird dann inzidiert. Der große Vorzug dieser Drahtmodelle, welche sehr leicht und schnell herzustellen sind, besteht darin, daß der operierende Chirurg sich an denselben während der Operation fortgesetzt aufs Genaueste orientieren kann.

In sämtlichen Fällen (es sind bisher sechs Fälle von Nadelsplittern lokalisiert) wurde das gesuchte Ende des Splitters genau an der vom Drahtende angegebenen Stelle ohne jedes Suchen bloßgelegt; in mehreren Fällen kam es vor, daß das Messer direkt auf das Nadelende beim ersten Schnitt auftraf. Um den Splitter möglichst schonend und ohne Gefahr des Abbrechens zu extrahieren, bestimmt man am Apparat auch die Richtung seiner Längsachse, indem auch das zentral gelegene Nadelende lokalisiert wird. Auch für dieses wird ein Drahtmodellchen angefertigt und beide Drähte in entsprechender Richtung aneinandergelegt; die beiden Fremdkörperenden der Drähte geben dann nicht nur die letztere, sondern auch die genaue Länge des Splitters an.

Was für die oben erwähnten Fremdkörper gesagt ist, gilt selbstverständlich ebenso für jede Art anderer Fremdkörper; es wurden u. a. auch kleine Geschosse leicht und sicher entfernt.

Das Verfahren gestattet nötigenfalls beliebig viele feste Punkte als Ausgang für die Messung am Körper mit Bleimarken zu versehen. Man kann dann sich den für die Messung des Fremdkörpers am geeignetsten gelegenen nach der Aufnahmeplatte auswählen. Besonders vorzuziehen sind Knochenvorsprünge wegen ihrer unveränderlichen Lage."

Der Röntgentiefenmesser von Robert Fürstenau.[1])

Dieses äußerst praktische Verfahren, welches ganz besonders für die tägliche Praxis geeignet und vielfach erprobt ist, beschreibt Fürstenau folgendermaßen:

---

[1]) Publ. *„Verhandlungen der Deutschen Röntgen-Gesellschaft“*, Band V.

Fremdkörperlokalisation nach Fürstenau

„Das Prinzip der Methode beruht auf der Ausmessung von sogenannten Stereoaufnahmen, d. h. Röntgenogrammen, die aus zwei auf derselben photographischen Platte befindlichen Abbildungen desselben Objektes bestehen. Die Anfertigung derartiger Stereoaufnahmen geschieht am einfachsten mittels einer besonderen Röhre, der Stereoröhre (s. Fig. 242). Diese Röhre enthält zwei Kathoden, die beide mit dem negativen Pol des Induktors verbunden werden, und eine Doppelantikathode, welche zwei in einem gegenseitigen Abstande von 65 mm angebrachte Platinspiegel besitzt; jeder dieser Spiegel steht einer der beiden oben erwähnten Kathoden gegenüber und sendet infolgedessen beim Betriebe der Röhre Röntgenstrahlen aus. Die beiden aus der Stereoröhre austretenden Strahlenbündel

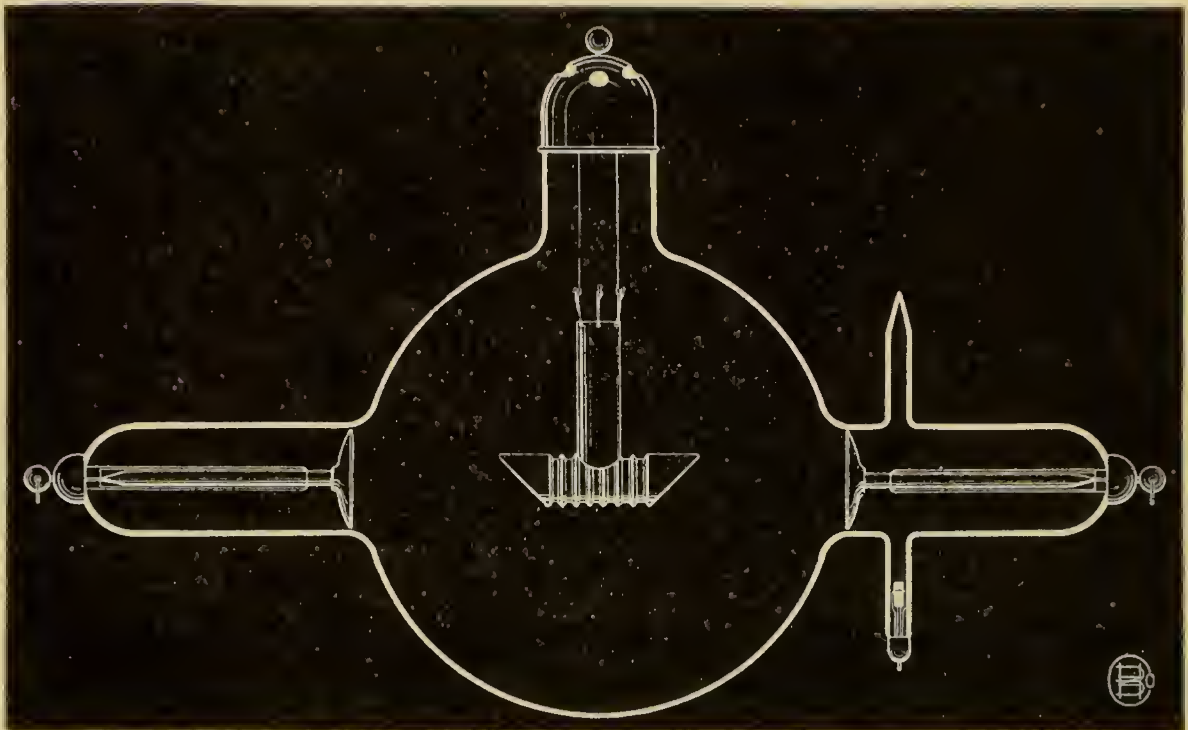


Fig. 242.

erzeugen jeder für sich ein Bild des Objektes, so daß eine Röntgenaufnahme resultiert, welche alle Konturen und Schatten doppelt aufweist.

Um Stereoaufnahmen zu erzeugen, ist es nicht unbedingt nötig, eine Stereoröhre zu verwenden; vielmehr lassen dieselben sich auch mittels einer gewöhnlichen Röhre in einfachster Weise dadurch herstellen, daß man die Röhre nach der ersten Aufnahme um $6^1/_2$ cm seitlich verschiebt, und dann eine zweite Aufnahme mit gleicher Expositionsdauer macht, ohne die Lage des Patienten oder der photographischen Platte irgendwie zu verändern.

Die Röhre, gleichgültig ob es eine gewöhnliche oder eine Stereoröhre ist, wird so eingestellt, daß der Abstand zwischen Anti-

kathode und Platte 60 cm ist; beträgt also der Durchmesser der Röhre 20 cm, der Halbmesser demnach 10 cm, so muß als Distanz zwischen Röhrenwandung und Platte 60 — 10 = 50 cm gewählt werden. Ferner ist bei der Einstellung der Röhre darauf zu achten, daß sich die Antikathode (bei der Stereoröhre einer der beiden Antikathodenspiegel, gleichgültig welcher) senkrecht über dem sogenannten Fixpunkt befindet. Der Fixpunkt ist ein Metallkreuzchen, welches mit Heftpflaster o. ä. auf dem Körper des Patienten an geeigneter

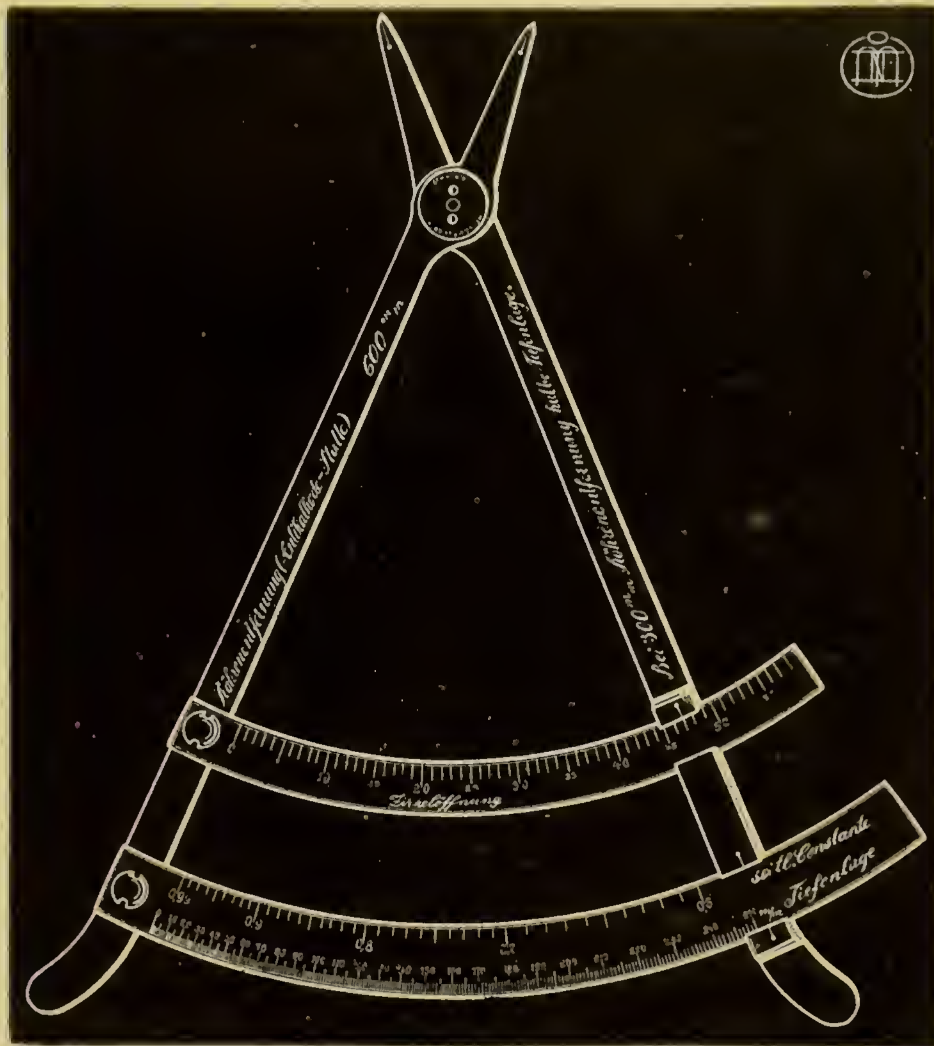


Fig. 243.

Stelle befestigt wird. (Nähe, Einschußöffnung, anatomischer Punkt, Stelle, von der aus der Eingriff erfolgen soll o. ä.) Um diese Stelle später genau wieder feststellen zu können, empfiehlt es sich, die Haut des Patienten dort, wo das Metallkreuzchen auflag, mit Höllenstein oder einem anderen unverwaschbaren Mittel (Tintenstift) ein wenig zu ätzen.

Um die Röhre in einfacher und exakter Weise so einzustellen, daß der Antikathodenspiegel sich senkrecht über dem Fixpunkt befindet, bedient man sich zweckmäßig eines Lots, das man mit seinem oberen Ende an die Stelle der Röhrenwandung hält, welche

der Antikathode gegenüber liegt (durch die also der Zentralstrahl die Röhre verläßt). Diese Stelle ist an den Stereoröhren durch eine Marke gekennzeichnet, bei gewöhnlichen Röhren ermittelt man sie leicht durch Augenmaß.

Nachdem der Fixpunkt am Körper des Patienten angebracht und die Röhre in erforderlicher Weise eingestellt ist, exponiert man in der üblichen Weise; jedoch ist in bezug auf die Expositionszeit folgendes zu beachten: Da die beiden Kathoden der Stereoröhre mit dem negativen Pol des Induktors verbunden sind, teilt sich beim Betriebe der Sekundärstrom in der Weise, daß an jeder Kathode nur die Hälfte der Gesamtenergie zur Wirkung gelangt. Man muß deshalb eine doppelt so lange Expositionszeit wählen,

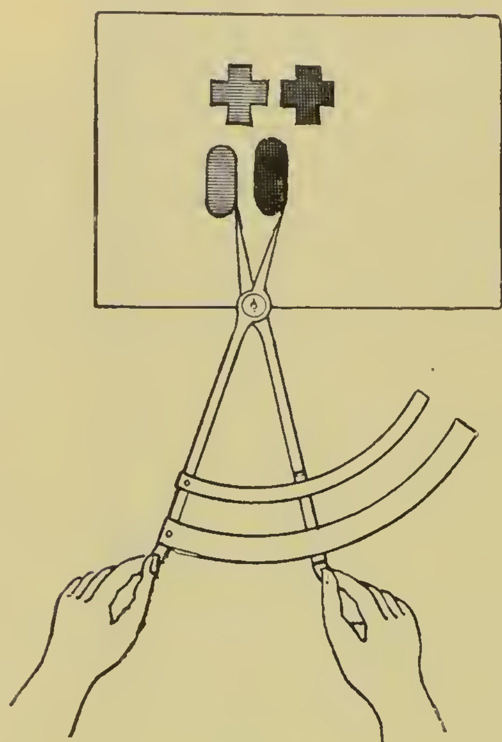


Fig. 244.

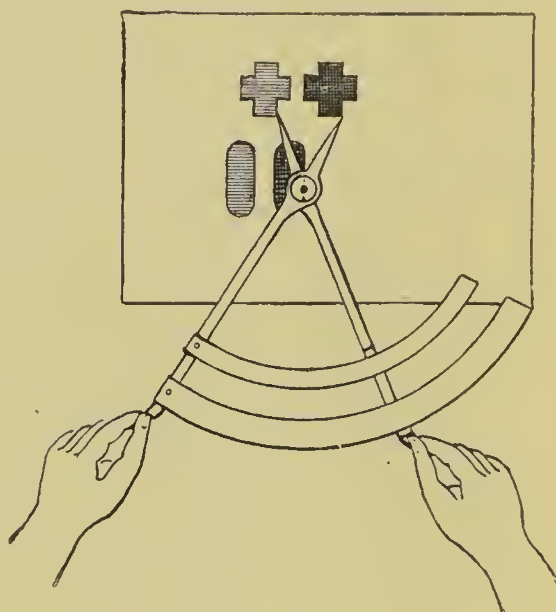


Fig. 245.

als bei gleicher Belastung zur Anfertigung derselben Aufnahme mit einer gewöhnlichen Röhre nötig wäre. Die in der oben beschriebenen Weise vorgenommene Aufnahme ergibt ein Röntgenogramm, dessen Ausmessung auf folgende sehr einfache Weise geschieht.

a) Ermittelung der Tiefenlage.

1. Man setzt die beiden Spitzen des Röntgentiefenmessers auf zwei homologe Punkte der beiden Fremdkörperschatten auf (siehe beistehende Fig. 244) und liest auf der unteren, mit „Tiefenlage“ bezeichneten Skala des Instrumentes (vgl. Abbildung des Röntgentiefenmessers Fig. 243) direkt die Tiefenlage, d. h. die senkrechte Entfernung des Fremdkörpers von der photographischen Platte, in Millimetern ab.

Hat man beispielsweise eine ventrodorsale Aufnahme gemacht, so gibt das Instrument an, in welcher Tiefe, vom Rücken aus gemessen, der Fremdkörper seinen Sitz hat; will man statt dieser jedoch die Tiefenlage, von der vorderen Körperseite aus gemessen, feststellen, so hat man nur die auf dem Instrument abgelesene Tiefenlage vom Körperdurchmesser zu subtrahieren. Letzteren erfährt man am einfachsten dadurch, daß man die Spitzen des Tiefenmessers auf die beiden Schattenbilder des Fixpunktes aufsetzt (s. Fig. 245) und auf der mit „Tiefenlage“ bezeichneten Skala des Instrumentes die senkrechte Entfernung des Fixpunktes von der Platte abliest. Subtrahiert man von dieser Entfernung die vorher abgelesene Tiefenlage, so gibt das Resultat an, um wie viel Millimeter die Ebene, in welcher der Fremdkörper liegt, in senkrechter Richtung gemessen, unterhalb des Fixpunktes liegt.

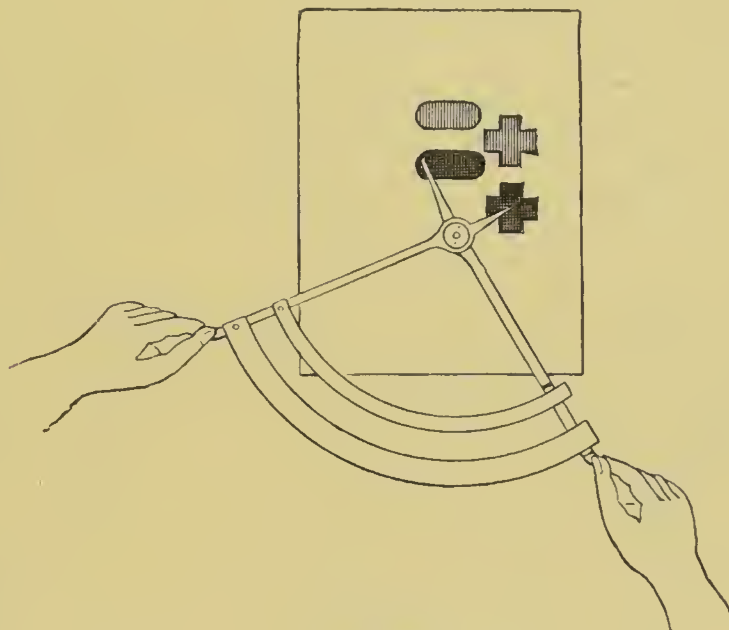


Fig. 246.

b) Ermittelung der seitlichen senkrechten Entfernung.

Auf der unteren Skala des Röntgentiefenmessers befinden sich zwei Teilungen, von denen die eine mit „Tiefenlage“ (siehe unten) bezeichnet ist, während die andere die Bezeichnung „seitliche Konstante“ trägt. Diese beiden Skalen liest man gleichzeitig ab. Die „seitliche Konstante“ dient zur Ermittelung der seitlichen senkrechten Entfernung des Fremdkörpers vom Fixpunkt in folgender Weise:

Nachdem man sich die abgelesene „seitliche Konstante“ gemerkt hat, setzt man die Spitzen des Röntgentiefenmessers, wie in beistehender Fig. 246 angedeutet, auf das unverzeichnete Schattenkreuz und das dazu gehörige Schattenbild des Fremdkörpers auf,

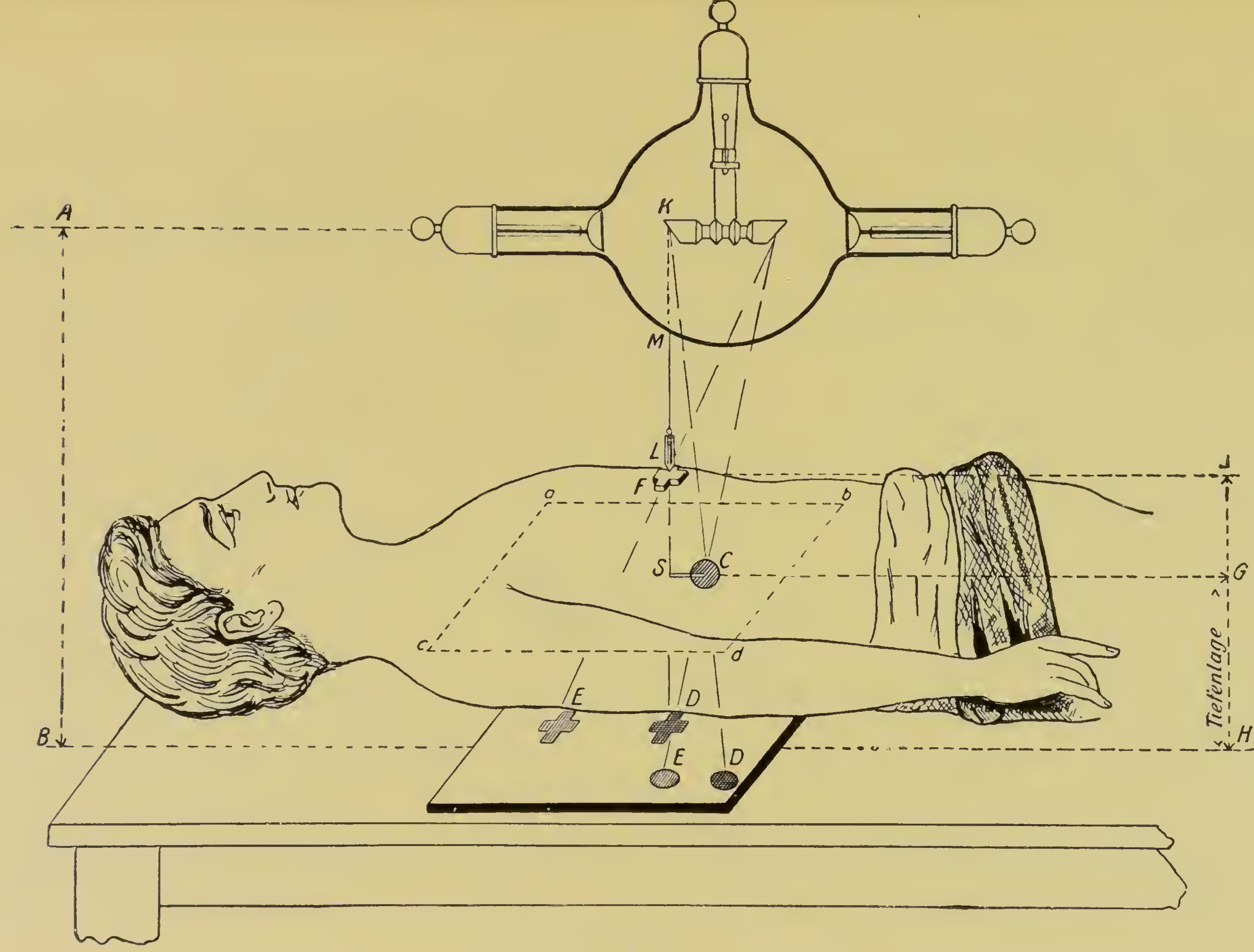


Fig. 247.

und liest auf der oberen, mit „Zirkelöffnung“ bezeichneten Skala die dort verzeichnete Zahl ab.

Diese Zahl wird mit den vorher abgelesenen „seitlichen Konstanten“ multipliziert; das Resultat gibt die senkrechte seitliche Entfernung des Fremdkörpers von dem Fixpunkt in Millimetern an.

c) Rekonstruktion der Messungen.

Welche Bedeutung die durch den Röntgentiefenmesser gemessenen Strecken für die räumliche Rekonstruktion des röntgenographischen Befundes haben, läßt sich am besten an Hand beistehender Zeichnung erläutern (Fig. 247).

Von der in der Figur dargestellten Stereoröhre, die sich in einer Entfernung $AB = 60$ cm oberhalb der Platte befindet, gehen zwei Strahlenbündel aus, die von der Kugel C zwei runde Schattenbilder D und E entwerfen. Auf diese beiden Schattenbilder werden, wie oben geschildert, die Spitzen des Tiefenmessers bei der ersten Messung aufgesetzt. Die hierbei abgelesene Tiefenlage entspricht in der Zeichnung der Strecke GH, d. h. der Entfernung der durch die Kugel C gelegten (gestrichelt gezeichneten) Ebene von der photographischen Platte.

Um zu erfahren, wie groß die Strecke JG ist, wie tief also die Kugel unterhalb des Fixpunktes F liegt, mißt man in der oben beschriebenen Weise die Entfernung des Fixpunktes F von der Platte; diese Entfernung entspricht in der Zeichnung der Strecke JH. Subtrahiert man von JH die Strecke GH (die Tiefenlage), so erhält man, wie aus der Figur ersichtlich, die Strecke JG.

Der Fixpunkt F ist senkrecht unterhalb des Antikathodenspiegels K der Stereoröhre in der Weise angebracht, daß ein mit seinem oberen Ende an die Marke M gehaltenes Lot L gerade auf den Fixpunkt F aufstößt. Die beiden durch die Strahlen erzeugten Schattenbilder des Fixpunktes sind in der Zeichnung mit D und E bezeichnet, so daß deutlich hervortritt, welche Schattenbilder zusammengehören, nämlich das unverzeichnete Bild D des Fixpunktes und der Kugelschatten D, und ebenso das verzeichnete Schattenbild E des Fixpunktes und der Kugelschatten E.

Das von dem Antikathodenspiegel K ausgesandte Strahlenbündel erzeugt mithin die beiden Schatten D (Kreuz) und D (Kugel). Die durch die beiden Strahlen KD (Kreuz) und KD (Kugel) gebildete Ebene KDD steht senkrecht auf der photographischen Platte und ebenso senkrecht auf der durch die Kugel C gelegene Ebene $abcd$. Die beiden genannten Ebenen schneiden sich in

einer Geraden SC, welche in der Zeichnung durch zwei parallele Striche hervorgehoben ist.

Diese Strecke SC stellt die durch Multiplikation der gemessenen „seitlichen Konstanten“ mit der ebenfalls gemessenen „Zirkelöffnung“ erhaltene „seitliche senkrechte Entfernung“ des Fremdkörpers vom Fixpunkt dar.

Durch die Messung der „Tiefenlage“ und der senkrechten „seitlichen Entfernung“ ist mithin

die räumliche Lage des Fremdkörpers eindeutig bestimmt.

Ist beispielsweise durch Messungen die „Tiefenlage“ zu 8 cm, die „seitliche senkrechte Entfernung“ zu 3 cm ermittelt worden, und beträgt der Körperdurchmesser des Patienten 20 cm, so besagt das Meßresultat folgendes: Um zu dem Fremdkörper zu gelangen, ist es nötig, vom Fixpunkt aus 20 — 8 = 12 cm senkrecht in den Körper hinein und von diesem Punkt aus 3 cm seitlich in der Richtung, die durch die Verbindungslinie zwischen den zusammengehörigen Schattenbildern von Kreuz und Kugel bestimmt ist, zu gehen. An dieser Stelle stößt man auf den Fremdkörper.“

In seltenen Fällen gelingt es, außer metallischen Fremdkörpern auch solche aus anderen Stoffen, namentlich Glas, Porzellan oder mit erdigen Bestandteilen verunreinigte Gewebsfetzen usw. nachzuweisen. Kronglas ist durchlässig, Blei- und Flintglas sind dagegen mehr oder weniger undurchlässig. Gewisse Chemikalien geben sehr intensive Schatten, so namentlich das Jodoform, welches dazu benutzt wird, um durch Ausspritzen von Fisteln ihren Verlauf im Körper kennen zu lernen. Jodipininjektionen kann man noch nach Jahren nachweisen, sie geben so ausgesprochene Schatten, daß sie auf dem Leuchtschirm sichtbar sind und auf der Platte ganze Skelettpartien verdecken können. Sodann sind einzelne Medikamente von außerordentlicher Absorptionsfähigkeit für die Röntgenstrahlen, deren Nachweis indessen mehr theoretisches Interesse als direkten praktischen Wert hat. Ausgenommen sind hiervon die zu forensischen Zwecken vorgenommenen Untersuchungen auf Arsenik, wie sie von Brautlecht angestellt worden sind.

Jodoform und Jodipin

30. Kapitel.

Die Gehlersche Folie und die Röntgenkinematographie.

Während ich mit der Bearbeitung der Schlußkapitel dieses Buches beschäftigt war, wurden mir neue Verstärkungsschirme von Gehler in Leipzig, die sog. Gehlersche Folie zu Versuchen vorgelegt. Ich möchte die Besprechung der Röntgentechnik nicht schließen, ohne wenigstens mit einigen Worten dieses neuesten Fortschrittes in der Momenttechnik und der damit eng verbundenen Kinematographie zu gedenken. Die Anwendung von Schelitverstärkungsschirmen ist alt. Wie bekannt, benutzten Rieder u. Rosenthal diese bei ihren ersten Momentversuchen. Es glückte ihnen auch, recht erfreuliche Resultate in Bruchteilen von Sekunden zu erzielen. Leider zeigten die Aufnahmen eine durch die grobe Struktur des Schirmes bedingte Körnung, in welcher die Feinheiten des Bildes vollkommen verloren gingen. Die Anwendung der Schirme blieb daher eine beschränkte und die Lösung des Problems der Momentaufnahme wurde, wie wir in Kapitel 13 gesehen haben, auf anderem Wege erreicht.

Die neue Gehlersche Folie, welche wir den gemeinsamen Arbeiten von A. Hoffmann, Direktor der medizinischen Universitätspoliklinik in Leipzig, seines Assistenten Rößler, sowie des Fabrikannten Otto Gehler danken, erweckt nun die Verstärkungsschirmtechnik zu neuem Leben, denn ihre Wirksamkeit ist gegenüber den alten Schelitschirmen eine erheblich größere, und die Aufnahmen zeigen nur minimale Körnungsspuren, die wohl bei weiterer Verbesserung des Materials beseitigt werden können.

Nach der Qualität der von mir hergestellten Bilder zu urteilen, halte ich das Anwendungsgebiet derartiger Aufnahmen für ein genau begrenztes. Die Thoraxübersichtsbilder zeigen überaus scharfe Zwerchfell- und Herzkonturen, die Lungenzeichnung ist gut, aber nicht so schön wie auf Bildern, bei denen der Schirm nicht zur Anwendung gekommen ist. Zwar erkennt man die Hilusdrüsen und die Gefäßschatten in genügender Klarheit, trotzdem zeigen die Bilder einen leichten Grad von Verschleierung, der z. B. das Hervortreten der Rippenstruktur verhindert.

Sehr gut werden die Teleaufnahmen, bei denen ohnehin keine solchen Qualitäten erwartet werden, wie bei Ncuaufnahmen, und bei welchen es in erster Linie auf Herzdarstellung ankommt. Sobald es sich um Herzröntgenogramme handelt, sei es zur

Größenbestimmung, zur Fixierung typischer Formen bei Herzfehlern oder zu Aortendarstellungen, ist der Schirm ein hervorragendes Hilfsmittel zur Herstellung von Momentaufnahmen, namentlich in seiner Kombination mit einem der modernen Wechselstromgleichrichterapparate oder Intensivstrominduktoren. Auch die Magendarmaufnahmen, bei welchen es sich wie bei den Herzaufnahmen nicht um strukturelle Details, sondern um grobe Umrißdarstellungen handelt, dürften durch diesen Schirm nennenswerte Verbesserungen erfahren. Ich erwähne nur die Aufnahme der Peristaltik. Die Skelettaufnahmen fallen überraschend gut aus. Die Schärfe der Knochenstruktur erleidet eine minimale Einbuße, die wohl nur dem Fachmann auffallen wird. Für alle Untersuchungen, bei denen es sich nicht wie z. B. bei zarten Periostitiden, um die allerfeinsten Schattenunterschiede handelt, sondern wo, wie bei der Gruppe der Frakturen und Luxationen mehr grobanatomische Darstellungen gewünscht werden, kann der Schirm mit Nutzen angewendet werden. Auch Osteomyelitis, Tuberkulose und Syphilis der Knochen halte ich mit ihm für darstellbar. Nicht geeignet ist diese Schirmtechnik für die Mehrzahl der Nierensteine. Hier wird die Darstellung so überaus feiner Schattendifferenzen verlangt, daß man jedes die Platte event. verschleiernde Moment sorgfältig ausschalten muß. Das Gleiche gilt von den Lungenspitzenaufnahmen, bei welchen gerade zum Nachweis minimalster Infiltrate eine absolut schleierlose mit weicher Röhre gemachte Platte erforderlich ist.

Die Anwendung der Folien weicht insofern von der der alten Verstärkungsschirme ab, als das zu untersuchende Objekt auf die Glasseite der photographischen Platte, unter welcher Schicht auf Schicht die Folie liegt, zu lagern ist. Die Strahlen durchdringen also den zu untersuchenden Körperteil, das Glas der Platte, die Emulsion und zum Schluß den Schirm.

Ich erzielte mit Wechselstromgleichrichter, Kompressionsblende und mittelweicher Bauerröhre in ca. $^1/_{35}$ Sekunde eine vorzügliche Ellenbogenaufnahme. Mit dem gleichen Apparat fielen Thoraxübersichtsaufnahmen in $^1/_{35}$ Sekunde ebenfalls, wie oben näher beschrieben, mit Gundelachscher weicher Momentröhre sehr gut aus. Die Platte war überlichtet, man hätte also mit noch kürzerer Exposition, etwa mit $^1/_{100}$ Sekunde ein fehlerloses Bild erzielen können. Leider erlauben aber die Momentrelais zur Zeit keine kürzere Exposition als ca. $^1/_{35}$ Sekunde. Die Röhre leuchtet hierbei blitzartig auf.

Mit gewöhnlichem Induktor, Wehnelt und Kompressionsblende erhielt ich von einem jungen Mann in $^1/_{10}$ Sekunde ein befriedigendes Hüftgelenksbild, das in gleicher Qualität ohne Folie etwa zwei Minuten Exposition bedurft hätte.

Mit Wechselstromgleichrichter und Bauerröhre wurde eine vorzügliche Aufnahme des mit Wismutbrei gefüllten Magens in 1 Sekunde erreicht.

Ein Teleröntgenogramm zur Herzgrößenbestimmung bedurfte bei 2,50 m Fokusdistanz nur einer Expositionszeit von 1 Sekunde.

Diese Beispiele genügen, um die Brauchbarkeit der Gehlerschen Folie für die Momentröntgenographie darzutun.

Ein Gebiet, auf dem man besonders viel von diesen Schirmen erwarten darf, ist die Röntgenkinematographie, auf welche mit einigen Worten einzugehen ist.

Als erste führten Macintyre und Levy-Dorn, letzterer 1905 gelegentlich des *I. Kongresses der Deutschen Röntgengesellschaft* Bilder vor, welche zwar im eigentlichen Sinne des Wortes keine echten kinematographischen Aufnahmen waren, welche aber doch infolge der kunstvollen Art ihrer Herstellung durchaus als solche wirkten. Levy-Dorn demonstrierte die ulnarradialen Handbewegungen, die Bewegungen des Vorderarms beim Übergang von der Supination in die Pronation und die Artikulation im Kniegelenk.

Die eigentliche Kinematographie stellt einen bewegten Gegenstand so dar, daß von der „fließenden" Bewegung eine große Anzahl von Momentaufnahmen gemacht werden, die später verkleinert, als lange Streifen den Projektionsapparat passieren und nunmehr durch ihre schnelle Aufeinanderfolge den Eindruck eines natürlich bewegten Gegenstandes machen. Wie bekannt, hat man auf diese Weise die Gehbewegung des Menschen, den Lauf der Tiere, den Flug der Vögel, ja sogar das Schwirren der Insekten wissenschaftlich analysiert. Solange die Röntgentechnik noch nicht über wirkliche Momentaufnahmen, d. h. Aufnahmen von $^1/_{35}$—$^1/_{100}$ Sekunden verfügte, war man natürlich nicht imstande, von einem röntgenographisch darstellbaren bewegten Körperteil, z. B. einem Gelenke echte kinematographische Aufnahmen herzustellen. Levy-Dorn und seine Nachfolger halfen sich in der Weise, daß sie eine große Anzahl einanderfolgender Phasen der Bewegung mittels Zeitaufnahmen im Röntgenogramm festlegten und diese einzelnen Bilder dann auf das kinematographische Filmstreifenformat in richtiger Reihenfolge brachten.

1907 führte Alban Köhler auf dem *III. Kongreß der Deutschen Röntgengesellschaft* kinematographische Aufnahmen normaler und pathologischer Atmung vor. Den Eindruck, welchen diese Bilder auf die Versammlung hervorriefen, war ein tiefer. Wohl jeder fühlte, daß hier die Anfänge einer Technik gezeigt wurden, aus deren weiterer Entwickelung der Wissenschaft, speziell der Herz- und Lungenphysiologie reicher Nutzen erblühen würde.

Wie dieses Ziel zu erstreben sei, ahnte damals allerdings niemand. Koehler sagte, „es wäre nicht ausgeschlossen, daß mit genügend starkem Instrumentarium in einer Sekunde 10—15 Thoraxaufnahmen erreicht werden können“. Zurzeit, da ich dieses schreibe, sind wir in der Lage, im $^1/_{100}$ Teil einer Sekunde ein gutes Bild der Brusteingeweide zu erhalten.

Köhler stellte seine Kinematogramme auf die gleiche komplizierte Weise wie Levy-Dorn her. Während eines Atemzuges wurden 20—22 verschiedene Phasen aufgenommen und jede Phase 2mal hintereinander projiziert, so daß rund 60 Bilder während eines Atemzuges das Auge des Beschauers trafen. Daß zur Herstellung solcher Bilder ein sehr intelligenter Patient gehört, ist ebenso selbstverständlich, wie die Unmöglichkeit, derartige Aufnahmen von einem kurzatmigen Herz- oder Lungenkranken zu gewinnen. Der Fokalabstand bei den in Rückenlage gemachten Bildern betrug 75 cm. Die Exposition 20 Sekunden.

1908 demonstrierte Eijkman auf dem *IV. Internationalen Kongreß für medizinische Elektrologie und Röntgenologie in Amsterdam* Röntgenkinematogramme des Schlußaktes. Die für kurzzeitige Röntgenaufnahmen überaus günstigen Halsorgane gestatteten die Herstellung von Momentaufnahmen mit einem einzigen Öffnungsinduktionsstoß (vgl. hierzu Seite 365). Ein Phasenverspätungspendel soll die Herstellung eines Momentbildes einer Bewegung um einen bestimmten Bruchteil einer Sekunde später als eine gewisse physiologische Phase stattfindet, ermöglichen. Leider läßt sich dieses Verfahren auf andere Bewegungen menschlicher Organe, die weniger günstige Durchstrahlungsbedingungen bieten, nicht anwenden.

Die im Jahre 1909 auf dem *V. Kongreß der Deutschen Röntgengesellschaft* vorgeführten Kinematogramme fallen in die Zeit der Erfindung der eigentlichen Momentröntgenogramme. Thoraxaufnahmen und Abdominalaufnahmen in $^1/_5$—$^1/_{20}$ Sekunden und weniger sind in relativ guter Qualität mittels der im Kapitel Momentaufnahmen beschriebenen Apparate nunmehr leicht herstellbar. Die Schwierigkeit, diese Bilder schnell hintereinander aufzunehmen, löste Groedel durch Konstruktion eines geeigneten Röntgenkinematographen. Das Prinzip seines Apparates beschreibt er mit folgenden Worten:

Eine größere Anzahl Films, die zwischen je zwei Verstärkungsschirmen liegen und in massiven Kassetten mit starkem Bleiboden eingelegt sind, werden langsam gegen eine mit entsprechendem Ausschnitt versehene Bleiwand vorwärts bewegt. Die Kassetten hängen auf zwei Schienen, die in einiger Entfernung von dem Bleischirm endigen, und fallen daher, sobald sie über das Ende der Schienen hinausgeschoben sind, durch einen Schlitz nach unten. Der Patient lehnt sich bei der Aufnahme gegen den Ausschnitt der

Bleiwand. Hinter ihm, mit 65 cm Plattenantikathodendistanz, ist die Röhre befestigt. Vor der Röhre bewegt sich eine 1 cm dicke Bleischeibe mit zwei diametral gegenüberliegenden Ausschnitten. Steht einer der Ausschnitte vor der Röhre, so wird die vorderste Platte exponiert, ist die Blendenöffnung verschlossen, so wird die exponierte Platte abgestoßen und fällt in einen gegen Röntgenstrahlen geschützten Kasten. Die Bewegung der über $1^1/_2$ Zentner schweren Massen besorgt ein Elektromotor. Die Expositionszeit kann von $^1/_5$—$^1/_{20}$ Sekunde variiert werden. Für längere Expositionszeiten wird durch einen besonderen Schalter die Röhre nur während der Expositionszeit eingeschaltet.

Die von Groedel dem Kongreß, sowie schon früher der *Medizinischen Gesellschaft in Berlin* vorgeführten Kinematogramme zeigten in überraschender Weise die Bewegungen des linken Ventrikel und der beiden Vorhöfe.

Auf demselben Röntgenkongreß demonstrierten Biesalski und Kohler eine andere Art der Herstellung von Röntgenkinematogrammen, auf deren Möglichkeit 1907 Köhler bereits hingewiesen hatte. Es handelt sich um die kinematographische Aufnahme des Leuchtschirmbildes. Die von den Autoren benutzten Schirme bestanden aus blau phosphoreszierendem Kalziumwolframat, die Exposition war auf $^1/_{10}$ Sekunde herabgesetzt worden.

Um die direkten und sekundären Strahlen vom Objektiv abzuhalten, wurde das Bild durch einen Silberspiegel unter einem Winkel von 45^0 in das Objektiv des durch Blei geschützten kinematographischen Apparates reflektiert. Die sogenannte „fließende Bewegung“ konnte indessen bisher mit diesem Verfahren nicht dargestellt werden, sondern nur Phasen der Bewegungen, die in den, zwischen den einzelnen Aufnahmen liegenden Pausen, von dem zu untersuchenden Körperteil vorgenommen wurden.

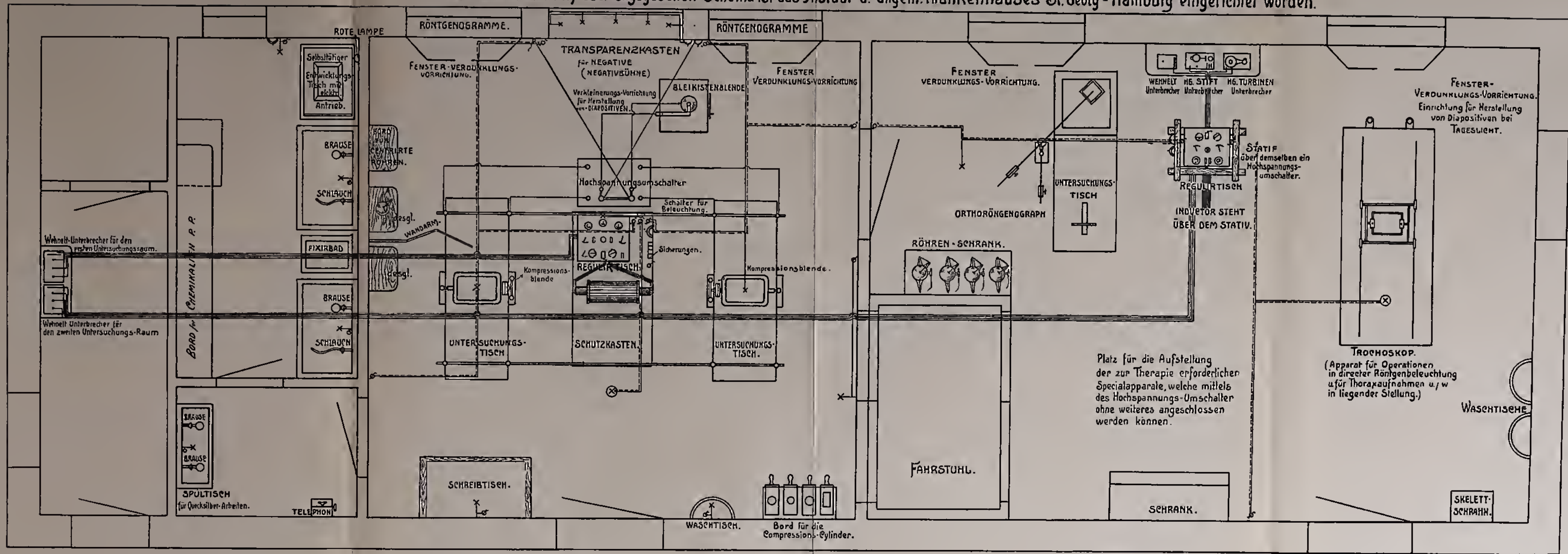
Ob diese Methode, die man im Gegensatz zu den geschilderten direkten Verfahren die indirekte nennen kann, eine Zukunft haben wird, ist abzuwarten.

Sachregister.



SITUATIONSPLAN FÜR RÖNTGENINSTITUTE VON KLINIKEN u. KRANKENHAÜSERN.

Nach diesem vom Verfasser angegebenen Schema ist das Institut d. allgem. Krankenhauses St. Georg - Hamburg eingerichtet worden.





Band 10: **Die Diagnose des Nierensteins mit Hilfe der neueren Untersuchungsmethoden** von Dr. **Rumpel.** Mit 50 Röntgenbildern auf 10 Tafeln und 9 Abbildungen im Text. (Aus dem Allgemeinen Krankenhause Hamburg-Eppendorf, I. chirurg. Abteilung, Prof. Dr. Kümmell.) Kart. Preis 11 M.

Band 11: **Die Schädelbasis im Röntgenbilde** nebst einem Anhang: **Über die Nähte, Gefäßfurchen und traumatischen Fissuren des Schädels** von Dr. **Artur Schüller** in Wien. Mit einem Vorwort von Doz. Dr. **Holzknecht.** Mit 6 Tafeln, 6 zugehörenden Skizzenblättern und 30 Abbildungen im Text. Geb. Preis 14 M.

Band 12: **Die normale und pathologische Anatomie des Hüftgelenks und Oberschenkels** von Dr. **Alban Köhler** in Wiesbaden. Mit 12 Tafeln und 35 Abbildungen im Text. Geb. Preis 22 M.

Band 13: **Die Entwicklung der knöchernen Wirbelsäule** von Dr. **Béla Alexander.** Mit 42 Röntgenbildern auf 20 Tafeln und 14 Originalzeichnungen im Text. Geb. Preis 20 M.

Band 14: **Knochensyphilis im Röntgenbild** von Dr. **R. Hahn** in Hamburg und Prof. Dr. **Deycke-Pascha** in Konstantinopel. Mit 81 Bildern auf 10 Tafeln. Geb. Preis 11 M.

Band 15: **Die röntgenologische Diagnostik der Erkrankungen des Magendarmkanals** von Dr. **F. Goldammer.** Mit 11 Tafeln und einem Vorwort von Prof. Dr. H. Kümmell. Geb. Preis 11 M.

Band 16: **Über Geschwülste und entzündliche Erkrankungen der Knochen** von Stabsarzt Dr. **O. Rumpel.** Mit 140 Röntgenbildern auf 23 Tafeln. (Aus der königl. chirurg. Universitätsklinik zu Berlin.) Geb. Preis 34 M.

Band 17: **Die Spondylitis tuberculosa im Röntgenbilde** von Dr. **Ludwig Rauenbusch.** Mit 22 Röntgenbildern auf 11 Tafeln und 11 Skizzenblättern. (Aus der königl. Universitätspoliklinik für orthopädische Chirurgie in Berlin.) Geb. Preis 11 M.

Band 18: **Die Möller-Barlowsche Krankheit** von **Eug. Fraenkel.** Mit 1 farbigen und 5 photographischen Tafeln. (Aus dem patholog. Institut des allgem. Krankenhauses Hamburg-Eppendorf.) Geb. Preis 10 M.

Band 19: **Die Pneumonie im Röntgenbilde** von **R. v. Jaksch** und **H. Rotky** in Prag. Mit 59 Röntgenbildern auf 10 Tafeln und 10 Skizzenblättern. Geb. Preis 11 M.

Band 20: **Röntgendiagnostik des uropoëtischen Systems** von Dr. **G. Fedor Haenisch** in Hamburg. Mit 24 Handzeichnungen und 51 Röntgenbildern auf 16 Tafeln. Geb. Preis 15 M.

Band 21: **Die Entwicklung und der Bau des Kretinenskeletts im Röntgenogramme** von Dr. **Eugen Bircher,** Assistenzarzt der chirurg. Klinik (Prof. Wilms) in Basel. Mit 121 Röntgenbildern auf 12 Tafeln, 21 Abbildungen und 4 Schriftproben im Text. Geb. Preis 24 M.

Druck von Hesse & Becker in Leipzig.